

**CURSO BÁSICO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS**  
**ENSEÑANZA SECUNDARIA**  
**PROFESORADO DE CIENCIAS EN FORMACIÓN Y EN ACTIVO**

Jaime Carrascosa Alís

Josep Lluís Domenech

Joaquín Martínez Torregrosa

Luis Osuna García

Rafaela Verdú Carbonell

Para contactar con los autores: [jaime.carrascosa@uv.es](mailto:jaime.carrascosa@uv.es)

Los autores de este libro se adhieren a la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (<http://www.oei.es/decada/>) instituida por Naciones Unidas para el periodo 2005-2014, dedicando el capítulo 11 a la problemática de la sostenibilidad.

## Nota inicial

*Los contenidos de esta obra se pueden reproducir total o parcialmente de forma libre y gratuita. Los autores no solo lo autorizamos expresamente sino que nos congratulamos de ello. Tan solo pedimos que se indique la fuente y que, por favor, colaboréis en su difusión dándolos a conocer a otras personas a las que también pudieran resultar útiles.*

*Nuestro objetivo es contribuir, en lo que podamos, a la mejora de la enseñanza y aprendizaje de la Física y Química.*



Depósito legal: V-1482-2014  
ISBN: 978-84-616-9964-3

Valencia, 29 de febrero de 2016

A Daniel Gil Pérez, maestro de todos nosotros





# PRESENTACIÓN

Este proyecto está diseñado principalmente para implicar desde el principio a los profesores en formación, en el estudio de los problemas que plantea la educación científica de los futuros ciudadanos y de sus posibles soluciones, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje. También aspira a ser útil para los profesores de ciencias de educación secundaria en activo que lo consulten con este mismo propósito.

Los contenidos que aquí se presentan han sido concebidos para ser tratados a lo largo de un curso de formación inicial o permanente (aunque también pueden ser aprovechados en otros contextos, bien sea de forma individual o colectiva). De hecho, corresponden en gran parte a contenidos que los autores del proyecto (junto con otros profesores) hemos estado ensayando en distintos cursos de formación docente para profesorado de ciencias desde hace años, lo que nos ha permitido evaluarlos e ir introduciendo cambios con el propósito de mejorarlos, dando lugar finalmente a este libro.

En la actualidad, parece haber muy pocas dudas acerca de la importancia que, tanto para la educación científica de los alumnos como para la formación docente, tiene el que los contenidos tratados respondan a problemas que quienes aprenden hayan tenido ocasión de plantearse previamente. Problemas reales, concretos, que tengan interés o que, al menos, sean capaces de despertarlo. Por ello (si nos situamos en un posible curso de formación docente), se fomenta desde el principio la participación de los asistentes en la construcción de conocimientos mediante un trabajo colectivo en torno a aspectos que se consideran claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Los contenidos de cada tema se estructuran en torno a una serie de actividades (*en cursiva*) en las que se suele plantear algún tipo de problema sobre el que hay que reflexionar y trabajar con el fin de avanzar en su solución. En general, cada actividad va seguida de la respuesta a lo que en ella se demanda. Sin embargo, ello no impide que, aquellos profesores de Didáctica que quieran hacerlo, puedan servirse de los enunciados de dichas actividades (o de otras similares) para proponérselos a sus alumnos distribuidos en pequeños grupos de trabajo (por eso se utiliza el plural en cada actividad). En cualquier caso, incluso cuando se utilicen estos materiales de forma individual, conviene que tras leer cada actividad se haga una pausa para reflexionar sobre lo que en ella se plantea y tratar de hacer alguna aportación para después cotejarla con la información que se da en el texto que sigue a la actividad.

Cabe indicar también que, aunque muchos de los contenidos teóricos tienen un campo de aplicación amplio que se extiende a las diversas materias científicas, los ejemplos concretos que se utilizan son, en su mayoría, de física y química.

El problema vertebrador del que arranca este proyecto es el siguiente:

## **¿Qué competencias hemos de tener los profesores de ciencias?**

Como es lógico, se trata de reflexionar sobre las competencias necesarias para incidir de forma positiva en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias desde su inicio, en un proceso continuo, que se extiende a lo largo de toda la vida laboral pero que comienza con la formación docente inicial. Este problema constituye, de hecho, el primer tema y a

partir de él se justifican los restantes contenidos del curso y su secuenciación. El proyecto está integrado por 12 temas. En general, cada uno comienza con el planteamiento de una serie de problemas centrales de forma que será el intento de avanzar en su solución, lo que dará lugar a los contenidos que lo integran y a su secuenciación. Los temas no constituyen compartimentos estancos sino que, por el contrario, todos ellos se conectan entre sí formando un bloque de conocimientos didácticos con una cierta globalidad y coherencia interna.

También hemos partido del hecho de que la Didáctica de las Ciencias se puede considerar ya como un cuerpo de conocimientos específico con elementos tales como órganos de expresión, comunidad de investigadores con unas líneas de investigación definidas y unos resultados que conforman un conjunto de conocimientos sólido, coherente y estable, con unos principios y contenidos relevantes y reconocidos en la enseñanza de las ciencias, parte de los cuales hemos tratado de aplicar y recoger en este proyecto.

De acuerdo con lo anterior, nos limitaremos aquí a presentar el índice del proyecto para facilitar una visión global y rápida del mismo y nos remitimos al tema 1 para una justificación más detallada de todos los contenidos.

Finalmente, nos resta indicar que la base de los contenidos en que se estructura este libro está formada no solo por nuestro trabajo previo sino también por el de otras personas que afortunadamente nos acompañaron durante muchos años, formando parte de un mismo equipo. Entre otros:

Amparo Vilches Peña  
Carles Furió Mas  
Jordi Solbes Matarredona  
José Payá Péris  
Manuel Alonso Sánchez

La mayor parte de todo ese trabajo en equipo no hubiera sido posible sin la participación del profesor **Daniel Gil Pérez**, que supo no solo impulsar y dirigir su realización, sino también realizar valiosas aportaciones. Por eso hemos querido expresarle nuestro personal reconocimiento y dedicarle esta obra que también es suya.

## ÍNDICE

<b>Tema 1. El problema de la formación docente: ¿Qué competencias hemos de tener los profesores de ciencias para enseñar bien? -----</b>	<b>1</b>
1. ¿Qué deberíamos saber y saber hacer los profesores de ciencias? -----	2
2. El conocimiento de la materia a enseñar -----	4
3. El pensamiento docente espontáneo -----	6
4. Conocimientos teóricos sobre aprendizaje de las ciencias -----	8
5. Crítica fundamentada de la enseñanza tradicional -----	9
6. La preparación de programas de actividades -----	9
7. Dirigir adecuadamente el trabajo de los alumnos -----	11
8. El proceso evaluador -----	12
9. Innovación e investigación didáctica -----	12
10. Objetivos y contenidos -----	13
<b>Tema 2. ¿Qué ideas sobre la ciencia tenemos y transmitimos? -----</b>	<b>19</b>
1. Visiones simplistas sobre la ciencia y la tecnología -----	20
1.1. Una visión descontextualizada -----	21
1.2. Una concepción individualista y elitista -----	23
1.3. Una concepción empiro-inductivista y atórica -----	24
1.4. Una visión rígida, algorítmica, infalible -----	25
1.5. Una visión aproblemática y ahistórica -----	26
1.6. Visión exclusivamente analítica -----	27
1.7. Visión acumulativa, de crecimiento lineal -----	27
2. ¿En qué consiste una imagen más adecuada del trabajo científico? -----	29
2.1. Rechazo del empirismo -----	30
2.2. Papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente -----	31
2.3. Búsqueda de coherencia y de globalidad -----	31
2.4. Comprender el carácter social del desarrollo científico y su contexto -----	32
2.5. Simplificación, control riguroso de variables en condiciones preestablecidas -----	32
2.6. Generación y justificación de enunciados para comprender la naturaleza ----	33
3. El cambio de las concepciones simplistas sobre la ciencia -----	34
4. Algunas implicaciones en la enseñanza de las ciencias -----	44
Actividades complementarias -----	46
Anexo: Dos ejemplos de investigaciones históricas -----	50

<b>Tema 3. ¿Cuál debería ser el papel de los trabajos prácticos? -----</b>	<b>53</b>
1. ¿Qué características tienen las prácticas habituales? -----	55
2. ¿Cómo reorientar las prácticas de laboratorio? -----	56
2.1. Sobre el planteamiento del problema -----	56
2.2. Sobre la emisión de hipótesis -----	58
2.3. Diseño experimental y realización propiamente dicha de experiencias ----	59
2.4. Sobre el análisis de los resultados y conclusiones finales -----	61
3. Un ejemplo ilustrativo: el estudio de la caída de graves -----	62
3.1. Consideración del posible interés de la situación planteada -----	63
3.2. Análisis cualitativo inicial de la situación y precisión del problema -----	64
3.3. Operativización de la hipótesis -----	65
3.4. Elaboración de estrategias para someter a prueba las hipótesis -----	66
3.5. Planificación y realización de los experimentos -----	67
3.6. Análisis y comunicación de los resultados y de las perspectivas abiertas --	69
4. El diseño de productos tecnocientíficos sencillos -----	70
Anexo 1. Trabajos prácticos habituales -----	75
Anexo 2. Trabajos prácticos como investigación -----	77
<b>Tema 4. El problema de los problemas -----</b>	<b>95</b>
1. Análisis crítico de las formas habituales de resolución -----	96
1.1. Un aprendizaje superficial -----	97
1.2. Utilización, casi exclusiva, de ejemplos que favorecen la confusión -----	98
1.3. El operativismo extremo -----	99
2. Necesidad de un replanteamiento en profundidad -----	100
3. La resolución de problemas como investigación -----	105
3.1. Planteamiento cualitativo del problema -----	105
3.2. Elaboración de estrategias de resolución -----	106
3.3. Resolución propiamente dicha -----	106
3.4. Análisis de resultados -----	107
3.5. Perspectivas abiertas -----	107
4. El lanzamiento de un cuerpo hacia arriba -----	108
5. Extensión de la investigación sobre problemas a otros aspectos -----	111
Anexo. Ejemplos de problemas resueltos como investigación -----	113

<b>Tema 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos -----</b>	<b>137</b>
1. Errores conceptuales e ideas alternativas -----	138
2. ¿Cómo detectar la existencia de ideas alternativas? -----	145
3. Origen y persistencia de las ideas alternativas -----	147
3.1 Influencia de las experiencias físicas cotidianas -----	148
3.2. Influencia de la comunicación verbal, visual y escrita -----	149
3.3. Libros de texto que contienen graves errores conceptuales -----	153
3.4. Metodología utilizada en el proceso de enseñanza y aprendizaje -----	155
4. El aprendizaje como cambio conceptual -----	158
5. El aprendizaje como cambio conceptual y metodológico -----	161
5.1. ¿Por qué el cambio conceptual puede ser tan difícil de conseguir? -----	162
5.2. ¿Qué entender por cambio metodológico? -----	165
5.3. ¿Qué criterios podemos utilizar para evaluar el cambio conceptual? -----	167
6. La introducción de conceptos -----	167
7. Utilización didáctica de los errores conceptuales que aparecen en cómics, prensa, novelas y libros de texto -----	171
7.1. El estado natural de los cuerpos pesados es el reposo -----	173
7.2. Los cuerpos, cuanto más pesados son, antes llegan al suelo -----	173
7.3. La fuerza normal que un objeto hace sobre el suelo es su peso -----	174
7.4. El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la misma dirección que la fuerza resultante que actúa sobre el mismo -----	174
7.5. Un cuerpo se puede acelerar a sí mismo -----	175
7.6. Las chimeneas de los volcanes llegan al mismo núcleo terrestre -----	176
7.7. Puede haber corriente eléctrica aunque el circuito esté abierto -----	176
7.8. En el vacío no hay gravedad -----	177
7.9. Todos los metales son atraídos sensiblemente al aproximarles un imán ----	178
7.10. Siempre que un cuerpo frena la aceleración es negativa -----	178
Anexo 1. Cuestionario para detectar ideas alternativas-----	185
Anexo 2. Cuestionario sobre concepto de fuerza y caída de graves-----	191
Anexo3. Mapa conceptual sobre estructura de la materia-----	193
Anexo 4. Diferencias entre concepciones alternativas de distintos campos-----	194
Anexo 5. Errores conceptuales en cómics-----	197
Anexo 6. Errores conceptuales en libros de texto y otros materiales didácticos---	200
<b>Tema 6. Relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente -----</b>	<b>203</b>
1. Integración de las relaciones CTSA en el currículo -----	204
2. Concepciones espontáneas sobre la situación del mundo -----	205
3. La alfabetización científico-tecnológica de los ciudadanos -----	207
4. ¿Cómo integrar las relaciones CTSA en el currículo? -----	208
4.1. Utilización de las nuevas tecnologías en la educación -----	209

4.2. Potenciación de la relación entre el centro escolar y el medio -----	210
4.3. Realizar acciones y desarrollar comportamientos de respeto al medio -----	211
4.4. Utilización didáctica de la historia de la ciencia -----	212
4.5. ¿Cómo presentar unos contenidos conceptuales menos abstractos? -----	214
Anexo. Utilización de la Historia de la Ciencia. Ejemplos -----	221
<b>Tema 7. Las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje -----</b>	<b>237</b>
1. Constatación de un fracaso -----	238
2. ¿Qué otros factores influyen en las actitudes de los alumnos? -----	240
2.1. Características y comportamiento del profesor -----	241
2.2. El clima del aula y del centro -----	243
2.3. La autoestima del alumno -----	246
Anexo1. Influencia de distintos aspectos de la enseñanza y aprendizaje en las actitudes de los alumnos hacia las ciencias -----	251
Anexo 2. Características y comportamiento del profesor en el aula -----	254
<b>Tema 8. La evaluación -----</b>	<b>255</b>
1. ¿La evaluación como instrumento de aprendizaje? -----	256
2. Análisis crítico de la evaluación habitual -----	259
3. Algunas concepciones docentes sobre la evaluación -----	260
4. ¿Qué tipos de actividades de evaluación conviene utilizar? -----	262
4.1. Actividades con énfasis en aspectos de tipo conceptual -----	262
4.2. Actividades con énfasis en aspectos de tipo metodológico -----	263
4.3. Actividades con énfasis en aspectos CTSA -----	263
4.4. Actividades con énfasis en aspectos actitudinales -----	264
5. ¿De qué formas se puede evaluar el aprendizaje de los alumnos? -----	265
6. ¿Cuál es el papel de la calificación? -----	269
7. Análisis de algunas actividades concretas de evaluación -----	271
8. Evaluación como instrumento de mejora de la enseñanza -----	276
8.1. ¿Cómo evaluar el trabajo que realiza el profesor? -----	277
8.2. ¿Cómo evaluar el funcionamiento del centro escolar? -----	280
Anexo 1. La importancia de la evaluación -----	284
Anexo 2. Dificultades para modificar la evaluación tradicional -----	285
Anexo 3. Práctica de la evaluación -----	287
Anexo 4. Actividades de autorregulación -----	289
Anexo 5. Pruebas y estadillos utilizados en evaluación -----	290
Anexo 6. Algunos aspectos susceptibles de ser evaluados -----	294

<b>Tema 9. Estructura problematizada de temas y cursos -----</b>	<b>295</b>
1. ¿Cómo planificar la estructura de temas y cursos? -----	297
2. ¿Cómo diseñar los contenidos de un curso y de cada tema como estructurantes para su desarrollo? -----	299
3. ¿Qué problemas de interés utilizar como estructurantes para el desarrollo de un tema o de un conjunto de temas? -----	302
<b>Tema 10. Luz y visión: ¿cómo vemos? ¿cómo podemos ver mejor? -----</b>	<b>309</b>
Consideraciones previas -----	309
¿Cuál es el interés del problema planteado? -----	312
1. ¿Qué es necesario para ver bien los objetos? Elaboración de un modelo de visión	314
1.1. ¿Qué relación existe entre el objeto que es visto, la luz y el ojo? -----	314
1.2. ¿Cómo funciona el ojo humano? -----	328
2. Puesta a prueba del modelo en situaciones de visión indirecta -----	336
2.1. ¿Cómo vemos al mirar a un espejo plano? -----	336
2.2. ¿Cómo vemos los objetos sumergidos en líquidos transparentes? -----	340
2.3. ¿Cómo vemos al mirar a través de las lentes? -----	343
3. Aplicaciones tecnológicas del modelo de visión -----	348
3.1. ¿Cómo se corrigen las anomalías visuales? -----	348
3.2. ¿Cómo funciona un telescopio? -----	353
3.3. ¿Cómo funciona una cámara fotográfica? -----	354
4. Conclusiones y problemas abiertos -----	357
Actividades complementarias -----	358
Sistema de evaluación -----	360
Prueba global de evaluación -----	361
<b>Tema 11. Del cambio climático hacia un futuro sostenible -----</b>	<b>365</b>
1. El clima terrestre como sistema autorregulado -----	366
2. Los gases invernadero -----	371
2.1. El dióxido de carbono -----	371
2.2. El metano -----	373
2.3. Otros gases de efecto invernadero -----	375
3. Otros factores que inciden en el efecto invernadero -----	376
4. ¿Qué va a ocurrir si no tomamos las medidas adecuadas? -----	377
4.1. Fusión del hielo continental y marino -----	378
4.2. Aumento de la acidificación de los océanos -----	380
4.3. Alteración de las precipitaciones y aumento de los fenómenos meteorológicos extremos -----	381
4.4. Alteración de ritmos vitales de muchas especies y pérdida de biodiversidad	382
4.5. Aumento de la probabilidad de cambios climáticos grandes y abruptos -----	384

<b>5. ¿Qué podemos y debemos hacer?</b> -----	<b>387</b>
5.1. ¿Con qué otros graves problemas está relacionado el cambio climático?--	387
5.2. ¿Qué medidas concretas conviene impulsar para avanzar en su solución?	391
5.2.1. Medidas científico-tecnológicas -----	391
5.2.2. Medidas educativas -----	393
5.2.3. Medidas políticas-----	396
Posibles actividades de evaluación -----	400
<b>Tema 12. Iniciación a la investigación didáctica -----</b>	<b>403</b>
<b>1. La identificación y formulación de problemas</b> -----	<b>406</b>
<b>2. La emisión de hipótesis</b> -----	<b>408</b>
<b>3. La elaboración de diseños experimentales</b> -----	<b>409</b>
<b>4. Organización y presentación de datos</b> -----	<b>411</b>
<b>5. El análisis de resultados</b> -----	<b>413</b>
5.1. Desviación estándar, media aritmética y dispersión de los resultados ----	413
5.2. Comparación de resultados -----	417
5.2.1. Comparación de un resultado individual con respecto al conjunto al que pertenece -----	417
5.2.2. Comparación de dos muestras independientes -----	421
5.2.3. Comparación de dos muestras relacionadas -----	425
5.3. Grado de correlación entre dos variables -----	428
5.3.1. Coeficiente de correlación de Pearson -----	428
5.3.2. Relación entre dos variables dicotómicas: Coeficiente correlación $\emptyset$	431
5.3.3. Datos ordinales: Coeficiente de correlación de Spearman -----	434
5.3.4. Variable continua y dicotómica: Coeficiente de correlación biserial puntual -----	436
<b>6. El tamaño del efecto</b> -----	<b>437</b>
<b>7. ¿Cómo evaluar un trabajo de investigación didáctica?</b> -----	<b>440</b>
Actividades complementarias -----	441
A modo de conclusión -----	445
Anexo 1. Normativa para anotaciones bibliográficas -----	448
Anexo 2. Obtención del coeficiente de correlación de Spearman -----	449
Anexo3. Obtención del coeficiente de correlación biserial puntual -----	451
Anexo 4. Desviación estándar de un grupo a partir de las de subgrupos -----	453
Anexo 5. Otra forma de expresar el coeficiente de correlación de Pearson -----	454
Anexo 6. Tablas -----	455
<b>Recapitulación final del proyecto</b> -----	<b>463</b>



## **1. EL PROBLEMA DE LA FORMACIÓN DOCENTE:**

### **¿QUÉ COMPETENCIAS HEMOS DE TENER LOS PROFESORES DE CIENCIAS PARA UNA ENSEÑANZA DE CALIDAD?**

En este primer tema, analizaremos qué competencias<sup>1</sup> hemos de tener los profesores de ciencias para poder llevar a cabo una enseñanza de calidad.

#### **¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

- ¿Qué deberíamos saber y saber hacer para poder desarrollar una enseñanza de calidad?
- ¿Qué conocimientos forman parte de la materia a enseñar?
- ¿Qué importancia tienen las ideas espontáneas o simplistas sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias?
- ¿Qué conocimientos teóricos sobre el aprendizaje de las ciencias son necesarios?
- ¿Cómo superar los posibles obstáculos?
- ¿Cómo elaborar y secuenciar los contenidos a desarrollar con los alumnos?
- ¿Qué contenidos concretos van a formar parte de este curso?

Hasta no hace mucho tiempo era frecuente referirse a las características que debía tener un profesor para impartir una buena enseñanza, concibiéndose estas como una especie de cualidades que podían tenerse, en mayor o menor medida, de forma natural y que únicamente era posible incrementar a base de años de experiencia.

El hecho de que nos refiramos hoy de forma explícita a competencias, a qué deben conocer (en el sentido amplio de saber y saber hacer), en lugar de a características o cualidades, constituye un matiz sin duda importante, que rompe con anteriores visiones **esencialistas** y que nos hace pensar en la renovación de la enseñanza y la formación del profesorado como un proceso de adquisición de unos conocimientos teóricos que continuamente están siendo experimentados y evaluados. Estos conocimientos teóricos, al menos en el campo de las ciencias, no están formados por bloques dispersos sino que cada vez más se dan, como puede constatarse analizando las revistas especializadas en Didáctica de las Ciencias, importantes consensos en torno a aspectos claves de la enseñanza y del aprendizaje. Las líneas de investigación en este campo son muchas y en continuo desarrollo, habiéndose producido ya resultados de gran interés, que progresivamente van conformando la Didáctica de las Ciencias como un cuerpo sólido y coherente de conocimientos específicos. Conviene que los profesores de ciencias en formación se inserten en el proceso no solo de adquisición sino también de puesta en práctica y desarrollo de dichos conocimientos.

El objetivo fundamental de un curso como éste, podría resumirse diciendo que pretende contribuir a preparar para el desempeño de una buena enseñanza de las ciencias en general

---

<sup>1</sup> En este libro hablamos de competencias en sentido amplio, no solo de conocimientos específicos de la materia a enseñar, sino también de procedimientos, metodología, actitudes y comportamientos.

## 1. El problema de la formación docente \_\_\_\_\_

(y de la física y química en particular). Conviene pues que, en primer lugar, nos detengamos en clarificar todos aquellos aspectos más relevantes que conforman una enseñanza de las ciencias de calidad. En este tema se pretende lograr una visión global de dichos aspectos pero sin descender a detalles concretos, tal y como requiere una primera aproximación. Se intenta además resaltar la importancia e interés de los temas a tratar y justificar el hilo conductor a seguir.

### **1. ¿QUÉ DEBERÍAMOS SABER Y SABER HACER LOS PROFESORES DE CIENCIAS PARA ENSEÑAR BIEN?**

*¿Qué tipo de conocimientos en sentido amplio (contenidos científicos, comportamiento, metodología, etc.), debería tener un profesor para poder desarrollar una enseñanza de calidad?*

Conviene aclarar que no se pretende un análisis en profundidad de cada uno de los posibles factores que puedan aparecer intentando ponerse de acuerdo (lo cual haría inacabable la actividad). Se trata únicamente de enunciar aquello que se considere más importante.

A continuación (y en orden aleatorio) se citan algunos de esos posibles conocimientos:

- ✓ Conocimiento amplio, a fondo y actualizado, de la materia a enseñar.
- ✓ Saber cómo aprenden los alumnos y qué barreras existen para que se produzca el paso del conocimiento intuitivo y ordinario al conocimiento científico.
- ✓ Dinámica de grupos y técnicas educativas.
- ✓ Relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente
- ✓ Historia de la ciencia.
- ✓ Estar al tanto de los principales resultados obtenidos a partir de la investigación didáctica e intentar incorporarlos en la clase.
- ✓ Saber transmitir interés por la asignatura, inquietudes, etc. a los alumnos, favoreciendo actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje.
- ✓ Tener los conocimientos necesarios para realizar tareas de investigación e innovación educativas.
- ✓ Saber dirigir el trabajo de los alumnos.
- ✓ Saber evaluar y calificar.
- ✓ Adaptarse a la edad y nivel inicial de los alumnos.
- ✓ Saber tomar decisiones, delimitar los contenidos del programa de su asignatura.
- ✓ Saber educar para la sostenibilidad

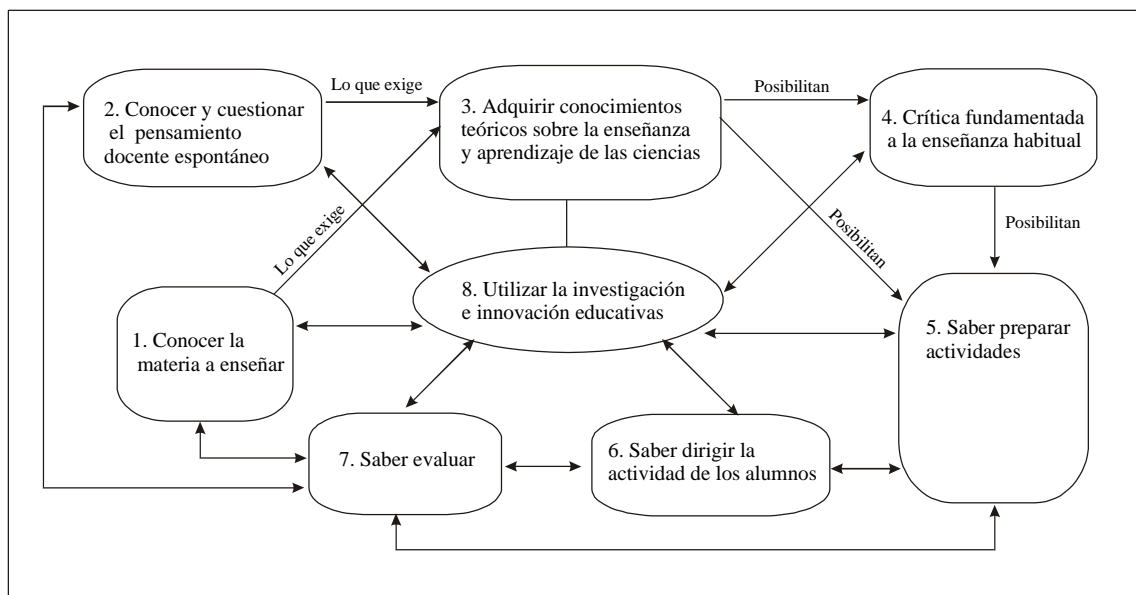
...

Vale la pena consultar la obra de David P. Ausubel: *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. En ella podemos encontrar información relevante respecto a muchos de los factores enunciados anteriormente. Este autor considera en primer lugar, lo amplio y persuasivo que sea el conocimiento del profesor respecto de la materia que enseña y en segundo lugar, lo capaz que sea de manipular con eficacia todas las variables que afectan de manera importante al proceso de enseñanza y aprendizaje de la misma, tales como la adaptación al nivel de madurez intelectual y experiencia en la materia de sus alumnos, claridad, entusiasmo en la tarea, cordialidad e interés del profesor hacia sus alumnos, capacidad para motivar, grado de compromiso personal con el aprendizaje de los alumnos, etc.

Finalmente, destacar un factor esencial y cuya carencia constituye (junto con el desconocimiento de la materia a enseñar) uno de los mayores obstáculos que se oponen a la formación y perfeccionamiento de los profesores. Se trata de: conocer y cuestionar el **pensamiento docente espontáneo**. Es decir, el profesor en formación no parte realmente de cero sino que, fruto de una larga etapa anterior, posee ya una formación ambiental que le impregna y que es responsable, en buena medida, de toda una serie de ideas sobre la enseñanza y el aprendizaje que a menudo ni siquiera se cuestionan pero que, sin embargo, en muchos casos constituyen verdaderas barreras ante posibles cambios.

*Tratad de ubicar cada una de las principales propuestas realizadas, en los bloques de conocimientos pertinentes que conforman el esquema expuesto a continuación.*

El esquema siguiente permite ubicar en él la mayor parte de las propuestas anteriores y sirve a su vez como hilo conductor de éste tema ya que a lo largo del mismo se irán comentando cada uno de los grandes bloques de que consta dicho esquema, teniendo presente que no se trata ahora de profundizar en cada uno, sino más bien de plantear problemas relevantes, cuestionar algunas ideas, abrir nuevos interrogantes, etc. En definitiva, se pretende disponer primero de una panorámica general, para abordar después con más detalle algunos de los capítulos fundamentales acerca de lo que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias.



Una idea clave a extraer del esquema, es que los bloques de conocimientos no son estancos. Todos ellos se hallan relacionados entre sí formando un entramado en el que destaca en el centro, conectado con todos los demás, el bloque correspondiente a la utilización de la investigación e innovación. Por otra parte, la gran cantidad de conocimientos y las estrechas relaciones entre ellos, dan a la tarea de formación y perfeccionamiento de los profesores un carácter bastante complejo, sobre el cual nos detendremos brevemente.

Hasta aquí se ha realizado una gran cantidad de propuestas acerca de todo aquello que los profesores de ciencias tendríamos que saber y saber hacer para desarrollar una enseñanza de calidad. La mayoría de ellas exigen un trabajo serio por parte de los profesores que deseen conocerlas con la profundidad necesaria para poder aplicarlas en sus clases. Esto nos

## 1. El problema de la formación docente \_\_\_\_\_

lleva a plantearnos la cuestión de si no será una visión utópica pensar que los profesores debemos saber y saber hacer todo lo que se ha apuntado.

*¿Es posible que un profesor conozca bien y sepa hacer todo lo que se ha señalado anteriormente? Considerad el problema y realizad alguna sugerencia al respecto.*

Mediante esta actividad se pretende por una parte salir al paso de los posibles sentimientos de frustración que pueden generarse ante tareas que, por su extensión y complejidad, aparecen como inabordables y por otra parte, reflexionar sobre una cuestión obvia, como es la imposibilidad de que un profesor tenga él solo todos esos conocimientos, de la misma forma que resulta iluso suponer que un científico que trabaja en un área determinada (biología, física, química, etc.), posea todos los conocimientos que pueden englobarse dentro de la misma. En este sentido conviene hacer algunas puntualizaciones:

- ✓ El problema es irresoluble si no es planteándolo en un marco colectivo. Es decir, una persona aislada no puede ser poseedora de todas esas competencias. Hay que tender a poseerlas pero a través de un trabajo colectivo y continuado, que posibilite que cada profesor, como componente de ese colectivo, vaya avanzando en su adquisición. Esto permite comprender la necesidad de que los profesores formen equipos estables de trabajo, que se planteen hacer investigación e innovación así como conocer lo que hacen otros compañeros, lo que se publica en la literatura especializada, etc.
- ✓ Que se incorporen y desarrollen las propuestas aparecidas, en la formación didáctica inicial para todos los futuros profesores de ciencias evitando que, ante la falta de conocimientos y alternativas, estos reproduzcan posteriormente, en su trabajo como profesores, muchos de los defectos y carencias que les afectaron en su larga etapa como alumnos.
- ✓ Constatar que se trata de un proceso largo que ha de ir completándose (mayor profundidad, actualización, etc.) a lo largo de toda la práctica docente, mediante un trabajo colectivo en el que se analicen los problemas educativos que surjan, se estudien los temas, se intercambien experiencias, se evalúen resultados y se introduzcan los cambios necesarios mejorar.

Con las puntualizaciones anteriores, la complejidad de la actividad docente deja de verse como un obstáculo a la eficacia y un factor de desánimo, para convertirse en una invitación a romper con la inercia de una enseñanza monótona y sin perspectivas, aprovechando su enorme creatividad potencial. Se trata en definitiva, de orientar dicha tarea como un trabajo colectivo de innovación, investigación y formación permanente.

A continuación trataremos con algún detenimiento cada uno de los grandes bloques de conocimientos establecidos anteriormente. Ello nos permitirá precisar mejor los contenidos de este curso.

## 2. EL CONOCIMIENTO DE LA MATERIA A ENSEÑAR

Diversos estudios han mostrado la gran importancia que tiene para la enseñanza y el aprendizaje un conocimiento en profundidad, por parte del profesor, de la materia a ense-

ñar. Todo el mundo está de acuerdo en ello, sin embargo no se da la misma unanimidad respecto a qué contenidos concretos han de formar parte de dicho conocimiento.

*Considerad qué es lo que significa realmente conocer la materia a enseñar, enumerando qué tipo de contenidos deberían formar parte de dicho conocimiento.*

Esta actividad permite reflexionar sobre uno de los aspectos más importantes relativos a lo que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias. Su falta supone quizás el mayor obstáculo para una enseñanza de calidad. El profesor que no posee conocimientos de cierta profundidad sobre la materia que enseña es un profesor excesivamente dócil frente a los libros de texto y con grandes dificultades a la hora de intentar llevar a cabo cualquier pequeña innovación en sus clases.

Tal y como se constata reiteradamente en diversos cursos de formación, muchos futuros profesores (y también profesores en activo), presentan graves dificultades en la comprensión y manejo de conceptos y principios básicos que hay que enseñar. Incluso se detecta, con bastante frecuencia, la existencia de determinadas ideas alternativas sobre dichos conceptos. Se trata este de un obstáculo importante que no puede ser ignorado, lo que ha llevado a algunos autores a afirmar que en la formación docente se deben incluir materias que permitan profundizar más en los contenidos básicos de las disciplinas que se habrán de enseñar.

En definitiva, una formación científica seria es algo necesario para que un profesor pueda innovar, cambiar, seleccionar con acierto los contenidos a tratar, simplificar sin generar y transmitir (o consolidar) ideas alternativas entre sus alumnos, etc., y no ser un simple repetidor mecánico de los contenidos del libro de texto.

Es preciso llamar la atención sobre el hecho de que algo tan aparentemente claro y homogéneo como conocer el contenido de la materia a enseñar, implica unos conocimientos profesionales muy diversos, tales como:

- ✓ Tener conocimientos de la historia de la ciencia útiles para contribuir a una mejor enseñanza de la asignatura. Conocer los problemas que dieron lugar a la construcción de los conocimientos científicos (sin lo cual dichos conocimientos aparecen como construcciones arbitrarias) y cómo estos llegaron a articularse en cuerpos coherentes. Conocer los obstáculos más importantes que hubieron de superarse (lo que constituye una ayuda imprescindible para comprender muchas de las dificultades de los alumnos), así como la evolución y diversos cambios experimentados por los conocimientos científicos (sin lo cual se contribuye a transmitir una imagen estática y dogmática de la ciencia).
- ✓ Conocer las estrategias metodológicas empleadas en la construcción de los conocimientos, es decir, la forma en que los científicos abordan los problemas, las características más notables de su actividad, los criterios de aceptación y validación de las teorías científicas, etc.
- ✓ Conocer las interacciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, asociadas a la construcción de conocimientos, sin ignorar el carácter, a veces dramático, del papel social de la ciencia, la necesidad de toma de decisiones complejas, etc.

## 1. El problema de la formación docente \_\_\_\_\_

- ✓ Conocer en particular, cómo puede contribuir desde sus materias (física, química, biología...) a la educación para la sostenibilidad, una tarea absolutamente necesaria para poder avanzar en la solución de los graves problemas (cambio climático, contaminación, agotamiento de recursos, etc.) que amenazan el planeta en su conjunto.
- ✓ Tener conocimientos de los desarrollos científicos y tecnológicos recientes así como de sus perspectivas futuras, tanto para poder transmitir una visión dinámica, no cerrada, de la ciencia, como para utilizar algunos de ellos (tecnologías de la información) como herramientas didácticas.

Además, un profesor tiene que tener conocimientos de otras materias relacionadas con la(s) de su especialidad, no para impartirlos todos, sino para poder abordar problemas “puente” entre distintos campos, relacionar la propia materia con otras, etc. También ha de estar preparado para profundizar en los conocimientos y adquirir otros nuevos. En particular, comprender el significado físico de los conceptos que ha de enseñar y ser capaz de explicarlos primero cualitativamente (las fórmulas y las matemáticas vienen después, y siempre teniendo en cuenta el nivel a que nos dirigimos).

Si no se dan las condiciones anteriores, es realmente muy difícil que un profesor sea capaz de seleccionar unos contenidos adecuados a enseñar a sus alumnos, asequibles para quienes van dirigidos, capaces de interesar por la ciencia y de dar una imagen aceptablemente correcta de la misma. Contenidos que han de contemplar no solo aspectos conceptuales sino también procedimientos y actitudes, careciendo de sentido intentar tratar dichos aspectos de forma separada.

### 3. EL PENSAMIENTO DOCENTE ESPONTÁNEO

Si el principal obstáculo para conseguir una enseñanza de calidad es la falta de conocimientos, es decir aquello que el profesor **no sabe**, no cabe duda de que el segundo obstáculo mayor es aquello que el profesor **sí sabe** sin ser muchas veces consciente de que lo sabe, ya que a veces se trata de concepciones simplistas sobre la enseñanza y el aprendizaje originadas por determinadas vivencias que todo profesor ha tenido siendo alumno. El carácter reiterado de dichas vivencias durante muchos años hace que lleguen a establecerse como evidencias de "sentido común" que, por tanto, no precisan ser cuestionadas. Esta impregnación ambiental dificulta su transformación, de manera análoga a como ocurre con algunas concepciones espontáneas que los alumnos tienen respecto a determinados conceptos científicos.

En otros casos, el profesor es consciente de determinados fallos o vicios concretos en su enseñanza. Sin embargo, es la falta de alternativas, el desconocimiento de que existen otras posibilidades sólidamente fundamentadas, lo que le lleva a reproducir en sus clases comportamientos, estilos de enseñanza, etc., que quizás él mismo, cuando era alumno, criticó.

*Enumerad, a título de hipótesis, posibles ideas simplistas sobre cualquier aspecto de la enseñanza-aprendizaje (tanto de las ciencias como en general) que puedan constituir importantes obstáculos para desarrollar una enseñanza de calidad y que convenga analizar con vistas a un replanteamiento de la actividad docente.*

A modo de ejemplo, conviene conocer y cuestionar algunas ideas y comportamientos como los que, de forma aleatoria, se enuncian a continuación:

- ✓ Las visiones simplistas acerca de la naturaleza de la ciencia, del trabajo científico y de los propios científicos, así como otras referidas a las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (en adelante CTSA).
- ✓ La reducción habitual del aprendizaje de las ciencias al aprendizaje de contenidos casi o exclusivamente conceptuales, olvidando aspectos metodológicos y actitudinales, junto con otros de tipo histórico, social, tecnológico, ambiental ...
- ✓ La tendencia a impartir programas enciclopédicos, lo que constituye un obstáculo para profundizar debidamente en los temas y prestar la suficiente atención a cuestiones como los trabajos prácticos, las relaciones CTSA, etc.
- ✓ El carácter "natural" del fracaso generalizado de muchos alumnos, basado tanto en el determinismo biológico (alumnos listos o torpes por naturaleza), como sociológico (no se puede hacer nada con alumnos marcados por medios socioculturales desfavorecidos).
- ✓ La idea de que el fracaso de los alumnos y sus actitudes de desinterés obedecen a causas exclusivamente externas, olvidando su relación con otras posibles causas internas como, por ejemplo, el tipo de enseñanza, el funcionamiento del centro escolar o las expectativas que de ellos tienen los profesores.
- ✓ La supuesta objetividad de las calificaciones en las materias científicas.
- ✓ La supuesta diferente capacidad de las alumnas respecto de los alumnos, que conduce en ocasiones a etiquetar a las chicas como más trabajadoras pero menos inteligentes que los chicos, o a pensar que ellos, generalmente, están más dotados para cursar estudios superiores de ciencias).
- ✓ La frustración que, a veces, se genera como consecuencia de diversos problemas que afectan a la actividad docente, ignorando las satisfacciones potenciales que dicha actividad puede proporcionar, especialmente cuando se contempla como una tarea compleja pero, a la vez, abierta y creativa.
- ✓ La idea de que enseñar es fácil, cuestión de sentido común o de encontrar, con la experiencia de los años, la receta adecuada. Junto a esta se encuentra también la idea de que la buena enseñanza es un "arte" para el que nacen unas personas más dotadas que otras.
- ✓ Pensar que unas explicaciones claras y unos alumnos atentos bastan para que se produzca la comprensión de los conceptos a enseñar.
- ✓ Creer que evaluar consiste en calificar lo que el alumno ha aprendido.
- ✓ Basar la disciplina de la clase únicamente en la autoridad del profesor.
- ✓ Pensar que es normal que los alumnos suspendan más en las asignaturas de ciencias que en otras.
- ✓ Pensar que sin la existencia de un laboratorio bien dotado no se puede enseñar ciencias y que la única forma de que los alumnos se familiaricen con la metodología científica es a través de las prácticas de laboratorio.
- ✓ El convencimiento de que lo ideal es que la nota media de la clase en una asignatura se aproxime todo lo posible al aprobado por lo que el profesor ha de tomar las medidas oportunas para corregir las posibles desviaciones, tanto por exceso como por defecto.

...

Naturalmente, no se trata aquí de profundizar en cada una de las cuestiones que puedan haberse citado (aunque sí lo haremos más adelante, a lo largo del curso). Nos limitaremos

a insistir en que la idea de que enseñar es una tarea fácil para la que normalmente basta con conocer los contenidos (principios, modelos, teorías ...) de la materia, algo de sentido común y un poco de práctica es, probablemente, una de las ideas simplistas más extendidas, lo que explica en parte la deficiente atención que en muchos casos se ha prestado a la formación profesional para la docencia. Dicha formación, en el caso del profesorado (en formación o en activo) de materias científicas (como la física o la química) ha de estructurarse fundamentalmente en torno a la Didáctica de las Ciencias como cuerpo de conocimientos y dominio específico de investigación. Ello supone, entre otras cosas, que el profesor adquiera toda una serie de conocimientos sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias que forman ya parte del cuerpo teórico de la Didáctica de las Ciencias.

#### **4. CONOCIMIENTOS TEÓRICOS SOBRE APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS**

*Considerad sobre qué tipo de conocimientos teóricos acerca del aprendizaje de las ciencias, convendría que estuviesen más familiarizados los profesores de ciencias.*

Como es lógico algo a tener presente, es la necesidad de que el profesorado conozca los principales resultados de la investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias, los cuales suministran información muy útil respecto al problema de cómo mejorar el aprendizaje de las materias científicas por parte de los alumnos. Sin dicho conocimiento difícilmente podrán cuestionarse algunas de las concepciones más importantes que integran lo que hemos denominado como pensamiento docente espontáneo. Por tanto, conviene que el profesorado de ciencias conozca las principales líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias, especialmente aquellas que conectan con aspectos claves para la enseñanza y aprendizaje de las propias materias como, por ejemplo, la introducción de conocimientos teóricos, las actividades prácticas, la resolución de problemas o la evaluación.

Los profesores hemos de ser conscientes de que las ciencias se aprenden significativamente construyendo conocimientos (indagando, investigando, argumentando...), lo cual es uno de los pilares en los que se apoya la orientación constructivista del aprendizaje.

Conviene resaltar también la importancia de las ideas alternativas como una de las principales líneas de investigación didáctica sobre la que ya se disponen de abundantes resultados y la importancia de saber organizar cualquier aprendizaje teniendo en cuenta todo aquello que el alumno ya sabe. Por otra parte, es preciso tener en cuenta las leyes del olvido y no dar por sabido todo lo que los alumnos ya han estudiado en otros cursos, asegurándose de que es posible la comunicación profesor-alumno.

En cuanto al tema de las actitudes, resaltar que lo importante no es explicar el fracaso de los alumnos en ciencias a causa de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje, sino estudiar cómo se producen dichas actitudes y también qué es lo que hace que, a partir de una actitud inicial hacia la ciencia en general muy positiva, esta se pueda ir deteriorando conforme se avanza de nivel educativo.

Además, conviene saber que los conocimientos científicos son, en general, respuestas a cuestiones de interés que se han planteado previamente y, por tanto, saber también organizar el aprendizaje mediante situaciones problemáticas adecuadas, que puedan aportar sentido a lo que se va a aprender y al orden en que se va a hacerlo.



La adquisición por parte de los profesores, de conocimientos teóricos sobre el aprendizaje de las ciencias, contribuye a que se pueda realizar una crítica fundamentada de la enseñanza tradicional y sus principales limitaciones. A continuación trataremos brevemente este nuevo bloque de conocimientos.

## **5. CRÍTICA FUNDAMENTADA DE LA ENSEÑANZA TRADICIONAL**

*Proceded a criticar la enseñanza tradicional, señalando algunas de sus limitaciones más importantes que, en vuestra opinión, afecten a aspectos claves como la introducción de conceptos, el curriculum a cubrir, los trabajos prácticos, la resolución de problemas, etc.*

En la enseñanza tradicional se ignora que la construcción de conocimientos es un proceso que precisa tiempo, por lo que usualmente se imparten currículos enciclopédicos. En general, dicho modelo de enseñanza se caracteriza, entre otras cosas, por la forma operativa y memorística -basada en fórmulas sin significado- de introducir los conceptos; la realización de trabajos prácticos tipo receta en donde los alumnos han de limitarse a seguir en un orden determinado una serie de pasos que se le dan previamente detallados (o la realización de prácticas magistrales por parte del profesor); la resolución de problemas como ejercicios tipo, de carácter exclusivamente numérico, repetitivos, directivos, etc.; el trabajo individual de los alumnos en clases poco participativas (no solo como una forma de trabajo poco coherente con el carácter social y colectivo del trabajo científico, sino también como símbolo de autoritarismo); una evaluación limitada a la calificación del alumno, etc.

La mayor parte de las críticas realizadas a la enseñanza tradicional han dado lugar a importantes líneas de investigación didáctica que ya han producido muchos resultados a los cuales dedicaremos una atención detallada durante el desarrollo del curso. Sin embargo, las críticas realizadas a la enseñanza tradicional no servirían de mucho a no ser que fuesen acompañadas de propuestas innovadoras teóricamente fundamentadas, con indicaciones concretas de cómo llevarlas a la práctica. A este respecto, una de las implicaciones más importantes de la teoría constructivista del aprendizaje es la concepción del currículo no como un simple conjunto de conocimientos sino como el programa de actividades a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser adquiridos. Hemos de señalar que la transformación de los contenidos que la enseñanza tradicional transmite ya elaborados, en programas de actividades, es un proceso complejo que exige una cuidadosa preparación, ensayos, etc., hasta llegar a un verdadero programa en el que las actividades engarzen coherentemente, sin caer en simples ejercicios desconexos sin un claro hilo conductor para los alumnos, o en graves olvidos de aspectos esenciales del currículo.

## **6. LA PREPARACIÓN DE PROGRAMAS DE ACTIVIDADES**

Un Programa Guía de Actividades, consiste esencialmente en estructurar los contenidos de un tema o unidad didáctica en forma de una serie de actividades a resolver por los alumnos con la ayuda y orientación del profesor, de forma que la resolución progresiva de las mismas permita que los alumnos participen en la construcción de los conocimientos que han de adquirir. Las actividades han de estar cuidadosamente elaboradas y secuenciadas de forma que cubran todos los aspectos a tratar y hagan que el programa tenga una cierta consistencia y una lógica interna. Conviene que los alumnos estén distribuidos en pequeños grupos de trabajo y traten de resolver cada actividad colectivamente. El papel del profesor es absolutamente esencial para que el tema se vaya desarrollando. Este impulsa y dirige el

## 1. El problema de la formación docente \_\_\_\_\_

trabajo de los distintos grupos, se preocupa de que las actividades se hagan realmente y cuando es necesario sintetiza, reformula o suministra más información. Además se trata de que el proceso se realice ágilmente (una cierta presión positiva es importante para evitar la dispersión o el aburrimiento), las puestas en común sean variadas (utiliza distintos métodos) y de que, en general, en la clase exista un clima de trabajo adecuado. Para proceder a realizar dichas puestas en común, no es preciso esperar siempre a que todos los grupos hayan terminado (los que les quede algo pendiente pueden acabar la tarea durante la propia puesta en común).

En definitiva, se trata de primar el trabajo del alumno y no centrarlo todo en la intervención magistral del profesor. El programa guía de actividades constituye una metodología que se fundamenta no solo en la concepción constructivista del aprendizaje, sino también en las implicaciones que la forma en que se desarrollan y consolidan los conocimientos científicos, tienen en la enseñanza escolar de los mismos.

En el diseño de los programas de actividades, temas o unidades didácticas en general, es fundamental tratar de incorporar algunos de los principales hallazgos de la investigación e innovación didácticas. Ello no solo redundará en su mejora sino que también incide positivamente en la escasa transferencia existente entre los avances de la investigación y su plasmación real en el aula.

*¿Qué tipo de actividades incluir?*

La mayoría de las actividades de un programa guía con las características anteriormente señaladas se pueden agrupar, en general, en tres grandes bloques:

### **Actividades de iniciación**

- ✓ Saber plantear actividades problemáticas que proporcionen un interés preliminar por la tarea y justifiquen los contenidos a tratar y el orden en que se van a estudiar.
- ✓ Tener en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes que los alumnos ya poseen.
- ✓ Conocer los prerrequisitos de todo tipo que conviene que los alumnos tengan para poder comenzar el estudio del tema.

### **Actividades de desarrollo**

- ✓ Plantear situaciones problemáticas para su estudio cualitativo (oportunidad para que los alumnos comiencen a explicitar y argumentar sus ideas)
- ✓ Formulación de problemas precisos. Elaboración de posibles hipótesis a modo de conjeturas explicativas de dichos problemas. Construcción de modelos teóricos. Derivación de posibles consecuencias contrastables.
- ✓ Plantear la elaboración de posibles estrategias de resolución y diseños experimentales para poner a prueba las hipótesis y posibles modelos teóricos.
- ✓ Proponer la resolución, análisis y discusión de resultados obtenidos por los alumnos y/o por otros colectivos.
- ✓ Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos, resaltando las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, de forma funcional.

### Actividades de acabado

- ✓ Plantear actividades adecuadas para finalizar el tema: síntesis, recapitulaciones, elaboración de productos, mapas conceptuales organizando los contenidos tratados, planteamiento de nuevos problemas (a tratar más adelante), etc.
- ✓ Elaboración de memorias sobre las posibles actividades realizadas fuera del aula, como, por ejemplo, visitas a museos, charlas con “expertos”, etc.

Finalmente, resaltar que los programas de actividades son algo vivo (continuamente se están experimentando y modificando a la luz de los resultados obtenidos) y que su diseño, puesta en práctica y evaluación, es una actividad compleja que exige una preparación adecuada y un trabajo colectivo.

## 7. DIRIGIR ADECUADAMENTE EL TRABAJO DE LOS ALUMNOS

Es evidente que no basta con que los profesores sepamos estructurar los contenidos de un tema en forma de programa de actividades, para conseguir que los alumnos aprendan, participando en la construcción de sus propios conocimientos. Para ello es preciso que además, sepamos **dirigir** adecuadamente dichas actividades.

*Enumerad algunos de los aspectos que convendría que los profesores tuviésemos en cuenta para poder dirigir y orientar adecuadamente las actividades a realizar por nuestros alumnos en el aula.*

Entre otros, podemos referirnos a los siguientes aspectos:

- ✓ Presentar las actividades a realizar de forma que los alumnos puedan adquirir una visión global de la tarea a realizar y se interesen por la misma.
- ✓ Saber dirigir ordenada y sistemáticamente las actividades de aprendizaje. En particular, facilitar el funcionamiento de los pequeños grupos de trabajo y los intercambios entre los mismos, así como una puesta en común ágil de las conclusiones.
- ✓ Facilitar oportunamente la información necesaria para que los alumnos contrasten la validez de su trabajo, abriéndoles nuevas perspectivas, etc.
- ✓ Realizar síntesis y reformulaciones en las que se valoren las aportaciones realizadas por los alumnos y que orienten en el desarrollo de la tarea.
- ✓ Saber actuar, en definitiva, como un experto capaz de dirigir el trabajo de los grupos y de transmitir su propio interés por la materia y por el desarrollo intelectual de sus alumnos.
- ✓ Crear un buen clima en el aula combinando un trabajo interesante con unas correctas relaciones entre profesor y alumnos y entre los propios alumnos.
- ✓ Contribuir a establecer y potenciar formas de organización escolar que favorezcan un buen funcionamiento del centro y unas relaciones fructíferas entre el aula, el centro y el mundo exterior.

...

A continuación comentaremos un bloque de conocimientos que sin duda es visto como algo esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto por los alumnos como por los profesores. Se trata del proceso evaluador.

## 8. EL PROCESO EVALUADOR

Respecto al proceso evaluador se dan, como ya hemos indicado anteriormente, algunas ideas que responden a una visión simplista y deformada sobre el mismo, como por ejemplo la concepción reduccionista de la evaluación, que en la práctica se traduce en que ésta se utilice únicamente como una actividad sancionadora de lo que los alumnos han aprendido. Esto ha llevado a reivindicar la necesidad de introducir modificaciones profundas en la evaluación.

*Anteriormente se ha señalado como una visión simplista la idea de que evaluar es calificar a los alumnos. Criticar esta afirmación señalando algunos de los aspectos de interés que habría que tener en cuenta en la actividad evaluadora en general.*

Se trata esencialmente de cuestionar la asociación reduccionista evaluación-calificación y abrir paso a la concepción de la actividad evaluadora como un instrumento de aprendizaje, que permita analizar los resultados obtenidos e introducir los cambios necesarios para mejorarlos. Dentro de éste marco, la evaluación no ha de limitarse únicamente al trabajo de los alumnos sino también al del profesor, al funcionamiento del centro, al currículo impartido e, incluso al propio sistema de evaluación empleado. Como es lógico, si queremos evaluar para incidir en el proceso educativo mejorándolo, será necesario evitar reducirla a valoraciones terminales y extender el proceso a lo largo de todo el curso.

Cuestionar también las evaluaciones sin unos objetivos previos claramente definidos (es decir sin unas mínimas indicaciones consensuadas por todos, acerca de lo que se pretende lograr y cómo). Criticar además, aquellas evaluaciones en las que solo se recogen aspectos meramente descriptivos, etc.

Para terminar esta **panorámica general**, nos detendremos brevemente en un bloque de conocimientos que se halla conectado con todos los restantes. Se trata de la utilización de la investigación e innovación educativas.

## 9. INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

Ya hemos señalado la necesidad de que el trabajo docente no sea una tarea aislada y que ningún profesor debería de sentirse oprimido por un conjunto de saberes que, con toda seguridad, sobrepasan las posibilidades de un ser humano. Lo esencial es que pueda darse un trabajo colectivo en todo el proceso de enseñanza-aprendizaje: desde la preparación de las clases a la evaluación. Se trata en definitiva, de orientar la tarea del profesor como un trabajo de innovación e investigación permanente y para ello es necesario que nos impliquemos en la investigación didáctica.

*Sugerid algunos aspectos concretos que puedan servir como índices de la utilización por parte de los profesores, de las innovaciones e investigaciones didácticas que se producen en el campo de las ciencias. En otras palabras: qué es lo que hace falta, qué supone y qué implicaciones debería tener, el hecho de que los profesores utilizásemos este tipo de conocimientos.*

Mediante la actividad anterior se pretende reflexionar sobre la necesidad de superar la jerarquización entre investigadores-pensadores y profesores-realizadores. El profesor ha de

estar familiarizado con la investigación e innovación didácticas producidas por la comunidad internacional, así como conocer las líneas prioritarias de trabajo y su aplicabilidad en el aula; en ello tienen un papel esencial las revistas sobre Didáctica de las Ciencias. Más aún los propios docentes deberían participar también activamente en este tipo de trabajo, es decir: el profesor no habría de limitarse únicamente a aplicar en el aula lo que una élite de especialistas diseña. La idea de "cada profesor un investigador" es algo más que un eslogan: es una necesidad objetiva de la propia enseñanza y una de las formas más efectivas de que el profesor se entusiasme y realice mejor la tarea que le es propia, es decir: enseñar. Dicha necesidad se hace aún más patente cuando se adopta una orientación constructivista del aprendizaje y se estructura el currículo como programas de actividades a través de los cuales los alumnos pueden construir los conocimientos; adquirir habilidades científicas; consolidar actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje; interesarse por las implicaciones de la ciencia-tecnología en la vida y el pensamiento de las personas, en el medio ambiente; etc. En este caso, el diseño de actividades capaces de favorecer este proceso, su experimentación y su adecuación para alumnos de distintos niveles, su evaluación, etc., supone todo un trabajo de investigación serio, colectivo y continuado, más duro y complejo que limitarse a repetir lo que dice un libro pero, sin duda, también mucho más apasionante.

Naturalmente todo lo anterior implica que los profesores tengan una preparación adecuada, no solo para comprender los principales resultados de las investigaciones realizadas por otros, sino también para poder realizarlas y presentarlas correctamente ellos mismos. Puede ser conveniente puntualizar que dichos conocimientos no son tan complicados como en ocasiones pudiera parecer, y resaltar, por ejemplo, que la estadística que se necesita manejar en los trabajos de investigación didáctica es bastante simple, dado que no se pretende hacer investigación sociológica y que en educación normalmente solo nos interesan grandes diferencias (lo cual reduce sensiblemente la complejidad de los métodos y el tamaño de las muestras).

A lo largo de este primer tema acerca de lo que deberíamos saber y saber hacer los profesores de ciencias, hemos intentado dar una visión general insertando las propuestas dentro de un marco teórico en el que se concibe el aprendizaje como construcción de conocimientos con las características esenciales de la investigación científica y en el que tiene una importancia especial, no solo el conocimiento de la materia a enseñar, sino también la necesidad de transformar lo que hemos denominado como pensamiento docente espontáneo. Hemos tenido así ocasión de cuestionar algunas ideas y de asomarnos a algunos de los temas claves en los que actualmente se está trabajando y de los que se disponen ya de abundantes e interesantes resultados, sobre los que existe un elevado consenso. En lo que sigue abordaremos con más detalle algunos de los temas básicos que aquí han surgido y que conformarán este curso.

## **10. OBJETIVOS Y CONTENIDOS DEL CURSO**

De forma resumida, se puede decir que el objetivo fundamental de este curso es que los profesores (en formación o en activo), mediante un trabajo colectivo, incrementen su competencia para crear situaciones adecuadas con las que favorecer el aprendizaje de las ciencias por parte de los alumnos. Más concretamente, se trata de que:

## 1. El problema de la formación docente \_\_\_\_\_

- ✓ Tomen conciencia de algunos de los principales problemas y dificultades que afectan a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.
- ✓ Vivan propuestas fundamentadas de innovación educativa que muestren las posibilidades de transformar la docencia y generar entre el alumnado unas actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje. El mismo curso de formación didáctica y su metodología han de ser un fiel reflejo de ello, evitando posibles incoherencias.
- ✓ Participen en la elaboración y discusión de temas concretos para la clase, los experimenten y evalúen sus resultados.
- ✓ Cambien el “pensamiento docente espontáneo” acerca de los problemas educativos, elaborado tras largos años de su formación como alumnos, y que, ante la falta de alternativas concretas, suele llevar a reproducir en clase algunos de los defectos que ellos mismos padecieron.
- ✓ Se percaten de la coherencia existente entre los diferentes contenidos de didáctica tratados.
- ✓ Conciban su trabajo como algo complejo pero también apasionante y dinámico, sujeto continuamente a revisión con el fin de mejorarlo.
- ✓ Adquieran la formación necesaria para asociar enseñanza e investigación didáctica.

A continuación se hace una propuesta de contenidos a través de los cuales se puede avanzar en la consecución de los objetivos anteriores y en la solución de los problemas previamente planteados.

### *Posibles contenidos de Didáctica de las Ciencias*

Los contenidos de didáctica específica han de servir para enfrentarse a los problemas concretos que conlleva la enseñanza y aprendizaje de los contenidos propios de las asignaturas que se han de enseñar. Es por ello que no deberían estar ausentes aquellos temas que constituyen importantes líneas de investigación dentro de la didáctica de las ciencias y que conectan más directamente con los problemas y objetivos señalados hasta aquí, lo que nos ha llevado a estructurar el curso en torno a los siguientes temas (después de este primero):

**2. Naturaleza de la ciencia y características esenciales del trabajo científico.** Cuando se afirma, por ejemplo, que las prácticas de laboratorio han de permitir la familiarización de los estudiantes con la metodología científica, es posible que sobre este objetivo exista un consenso muy elevado. Sin embargo, no pasa lo mismo respecto qué aspectos se consideran esenciales de dicha metodología ya que existen toda una serie de ideas simplistas y deformadas respecto a la ciencia y el trabajo científico que afectan incluso al propio profesorado en activo, influyendo en su forma de enseñar. Es por ello que resulta del mayor interés salir al paso, lo antes posible, de dichas ideas y elaborar una imagen de la ciencia más acorde con la realidad.

**3. El papel educativo de las prácticas de laboratorio.** Análisis crítico de aquellos trabajos prácticos que se presentan exclusivamente como una receta (imagen rígida y algorítmica del ciencia) mostrando cómo es posible su transformación, de modo que se conviertan en actividades verdaderamente coherentes con la metodología científica y además, aumenten su indudable potencial motivador para el aprendizaje de las ciencias. Incluir también otro tipo de prácticas, destinadas al diseño y elaboración de productos tecnocientíficos -a partir de materiales de fácil acceso y como respuesta a problemas de interés- que han de funcionar y que poseen también un gran poder motivador tanto para alumnos como profesores.

**4. La resolución de problemas de lápiz y papel.** El problema de los problemas constituye, desde hace tiempo, una de las principales líneas de investigación en la didáctica de las ciencias. Esto puede ser debido fundamentalmente tanto a la importancia que los profesores en general conceden a la resolución de problemas por parte de los alumnos (que suele ser considerada como una actividad fundamental para evaluar conocimientos), como al hecho de que constituye quizás uno de los aspectos claves dentro del aprendizaje de la física y química en donde se da un mayor índice de fracaso entre los alumnos. Se trata de analizar las causas de dicho fracaso y de fundamentar y experimentar posibles estrategias para minimizarlo. Ello puede justificar también la necesidad de orientar el aprendizaje de las ciencias en general como una tarea centrada en la resolución de actividades problemáticas de interés, que afectan no solo a los problemas de lápiz y papel, sino también al programa del curso y al propio índice de los temas, que no han de aparecer de forma dogmática, sino como un camino a seguir para avanzar en la resolución de una serie de problemas estructurantes planteados al comienzo.

**5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos,** incluyendo el estudio de las ideas alternativas que afectan a conceptos científicos básicos de distintos campos, análisis de cómo se originan, de su persistencia, de las implicaciones que dichos estudios han tenido en el diseño de distintas estrategias y modelos de enseñanza, etc. Éste tema sirve también para realizar, de manera funcional, las oportunas clarificaciones de algunos conceptos y principios básicos sobre los que suelen darse confusiones típicas en todos los niveles educativos.

**6. Las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente.** Es un hecho claramente establecido que las concepciones respecto a las complejas relaciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (CTSA), tienen una indudable influencia sobre muchas de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico. La integración, de forma funcional, de las relaciones CTSA en el currículo contribuye a elaborar una imagen de la ciencia y del trabajo científico, más adecuada y cercana a la realidad. Por otra parte ayuda a formar ciudadanos científica y tecnológicamente alfabetizados, capaces de tomar decisiones más informadas y responsables ante problemas como, por ejemplo, el impacto medioambiental de determinadas tecnologías frente a la necesidad de conseguir un desarrollo sostenible o las controversias sociales (reflejadas en los distintos medios de comunicación) que provocan determinadas investigaciones científicas como, por ejemplo, selección natural, genoma humano, clonación, reproducción asistida, uso de la energía nuclear, etc.

**7. Las actitudes de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje.** Es sabido que el interés muchos estudiantes por las ciencias disminuye notoria y regularmente a lo largo del periodo de escolarización. La gravedad del problema es tal, que el estudio de las actitudes de los alumnos hacia las ciencias y su aprendizaje es una de las primeras líneas de investigación didáctica, dado que existe una estrecha correlación entre actitudes y aprendizaje. Así, los estudiantes que mantienen actitudes favorables hacia la ciencia, desarrollan una mayor apreciación y comprensión de la misma y en consecuencia obtienen en general, mejores resultados. El problema es que, desgraciadamente, la actitud inicial hacia la ciencia y su aprendizaje, en general positiva al comienzo, va evolucionando conforme avanzamos en el nivel educativo, de manera que en muchos casos se va deteriorando, pudiendo llegar incluso a un fuerte rechazo de las materias científicas en general (y de la física y química en particular). Esto explica que se haya producido una abundante investigación acerca de cuáles son las causas fundamentales de este problema, así como de sus posibles soluciones. Sin embargo, a pesar de los importantes avan-

ces conseguidos en ese campo, lo cierto es que éstos son a menudo ignorados. Una tarea esencial, sería la preparación de materiales y proyectos de trabajo capaces de mejorar la actitud de los alumnos hacia las ciencias, presentando unos contenidos menos abstractos y más próximos a la realidad y el contexto de quienes van dirigidos.

**8. La evaluación como instrumento de aprendizaje. Evaluación y calificación de los alumnos.** Hoy en día no existen ya muchas dudas acerca de que los métodos usados por los profesores para evaluar, afectan profundamente no solo a la cantidad y calidad del aprendizaje de los alumnos, sino también a sus mismas características afectivas y concretamente a su interés hacia la ciencia y su aprendizaje. Más aún, existe un acuerdo unánime en que ningún cambio o innovación introducidos en la enseñanza, puede ser verdaderamente efectivo si a su vez no va acompañado de cambios acordes con ellos en el proceso evaluador. Mediante este tema se tiene ocasión de reflexionar sobre el papel que debe desempeñar la evaluación en nuestras clases (para qué evaluar), las características que debería de tener el proceso evaluador y cómo se tendrían que concretar en el aula, el problema de las calificaciones de los alumnos, la evaluación del trabajo del profesor, etc. Finalmente se aborda el problema del diseño de pruebas de evaluación y la corrección y calificación de las mismas.

**9. La estructura problematizada de los temas y cursos de ciencias.** La mayoría de los contenidos propuestos hasta aquí reflejan una concepción del aprendizaje de los conocimientos científicos como un proceso de evolución y cambio conceptual, metodológico y actitudinal, que se ve favorecido mediante el tratamiento de situaciones problemáticas que permitan, con la dirección del profesor, que los alumnos de enseñanza media o secundaria pongan en práctica formas de producir conocimientos coherentes con algunas características esenciales del trabajo científico. Una cuestión esencial es, pues, cómo diseñar los temas y cursos de ciencias con la estructura problematizada necesaria.

Otra cuestión que tiene una importancia fundamental (y sobre la que a menudo se falla porque no existen materiales accesibles o no se le concede la atención necesaria), es cómo cubrir el salto existente entre unas conclusiones o resultados teóricos que tienen claras implicaciones para mejorar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y el cómo llevar eso a la práctica real en el aula. Por otra parte, tampoco tiene mucho sentido llevar a cabo transformaciones puntuales importantes y dejar inalterado el resto. No sería muy lógico que, por ejemplo, se llevasen a cabo unas prácticas de laboratorio como investigación, coherentes con las características esenciales de la metodología científica, y que, sin embargo, en introducción de conceptos, resolución de problemas, evaluación, etc., se actuase de forma totalmente distinta; de ahí que en este curso se incluya el análisis y discusión de un tema o programas de actividades completo, como el propuesto a continuación (tema 10).

**10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?** La importancia de los problemas que dan título a este programa de actividades es fácilmente reconocible ya que a través de la visión obtenemos la mayor parte de la información con que conocemos e interpretamos nuestro entorno. En efecto, mediante la visión, percibimos formas, colores, brillo, tamaños... proximidad o lejanía y podemos disfrutar observando todo aquello que nos parece bello. Por otra parte, la comprensión de cómo vemos las cosas que nos rodean ha sido uno de los problemas que más ha interesado a los científicos de todas las épocas, y los avances producidos han permitido mejorar multitud de deficiencias en la visión y desarrollar aplicaciones tecnológicas que mejoran esta capacidad humana. Todo ello, obligó a los científicos a considerar la luz como “algo” que puede



ser objeto de estudio por parte de la Física y realizar investigaciones acerca de su naturaleza y de su comportamiento (cómo se propaga en los distintos medios, qué ocurre cuando interacciona con algunos dispositivos ópticos como el ojo, los espejos o las distintas lentes, etc.) De acuerdo con las consideraciones anteriores, en el tema se plantean problemas como los siguientes:

a) ¿Qué es necesario para ver bien los objetos? Avanzar en la respuesta a preguntas de este tipo supondrá elaborar un modelo de visión que explique la visión directa de los objetos en el que se clarifique la función y el comportamiento del ojo, del objeto que es visto y de la luz.

b) ¿Cómo vemos al mirar a un espejo, o al mirar a un objeto sumergido en el agua, o al mirar a través de las lentes,..?, es decir, cómo explicamos la visión indirecta. Avanzar en una respuesta a este tipo de preguntas supondrá poner a prueba el modelo de visión directa de los objetos, en una multitud de situaciones de visión y permitirá estudiar de una forma funcional aspectos como la reflexión y la refracción.

c) ¿Cómo mejorar la visión? En donde se incluirían preguntas tales como ¿qué lentes son necesarias para corregir las anomalías visuales? o ¿cómo funciona una cámara fotográfica o un telescopio?, etc. Avanzar respuestas a estas cuestiones pondrá de manifiesto la capacidad tecnológica y de aplicación práctica del modelo teórico de visión elaborado.

**11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible.** Estamos en un momento histórico crucial, en el que existen serios problemas que afectan a la humanidad (y a muchos otros seres vivos) como, por ejemplo, el agotamiento de recursos naturales esenciales, la contaminación en todas sus formas, el aumento de gases invernadero, la pérdida de biodiversidad o el aumento demográfico. La gravedad de estos (y otros) problemas, permite hablar de una situación de auténtica emergencia planetaria y ha hecho que desde la comunidad científica y organismos internacionales como las Naciones Unidas, se reclame que toda la educación preste sistemáticamente atención a la situación del mundo, con el fin de proporcionar una percepción correcta de los problemas y de fomentar actitudes y comportamientos favorables para el logro de un desarrollo sostenible. Por eso, la sostenibilidad no puede estar ausente de la formación del profesorado y por eso hemos incluido aquí este tema en el que partiendo del estudio de un problema concreto, como es el cambio climático planetario antropogénico, se analizan sus causas, se estudia su relación con otros problemas y se justifica la necesidad de un tratamiento simultáneo de todos ellos (desde la ciencia, la educación y la política) que haga posible la construcción de un futuro sostenible.

**12. Iniciación a la investigación didáctica.** Recordemos que todos los bloques de conocimientos sobre aquello que el profesorado de ciencias debe saber y saber hacer están conectados a su vez con uno central: La utilización de la innovación e investigación educativas. En este tema se trata de forma específica este aspecto facilitando una primera aproximación a la problemática, técnicas de trabajo, terminología... más usuales de la investigación en didáctica de las ciencias, de forma a hacer posible una lectura más comprensiva de los artículos publicados y la adecuación de nuestro propio trabajo en el aula a las exigencias de dicha investigación. Con ello queremos dar la importancia que merece este aspecto, que se considera central en la mayoría de los proyectos, pero que o bien no se trata o bien se hace de una forma muy superficial y poco coherente a como se hace con el resto de los temas.

## Referencias bibliográficas

- ADÚRIZ-BRAVO, A., e IZQUIERDO, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1 (3).
- AUSUBEL, D.P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- BROMME, R. (1988). Conocimientos profesionales de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 19-29.
- CAÑAL, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique*, 24, pp. 46-56.
- DRIVER, R y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- FURIÓ C., PAYÁ, J y VALDÉS, P. (2005). ¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?. En *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Capítulo 4. pp. 81-102. Publicado por la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREAL/UNESCO. Santiago de Chile. Chile.
- FURIO, C y GIL, D. (1978). *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química*. (ICE de la Universidad de Valencia).
- GIL, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.
- GIL, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 9 (1), pp. 69-77.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C y MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona).
- HEWSON, P.W y HEWSON, M.G. (1987). Science teachers conceptions of teaching: implications for teachers education, *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- MELLADO, J, V., RUÍZ, M, C., y BLANCO, N, L. (1997). Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial de maestros. *Bordón*, 49 (3), pp. 275-286.
- MILLAR, R y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- OEI. (2014). *Década por una Educación para la Sostenibilidad*. <http://www.oei.es/decada>
- PONTES, A., y DE PRO, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1).
- SÁNCHEZ, G., PRO, A., y VALCÁRCEL, M,V. (1997). La utilización de un modelo de planificación de unidades didácticas: el estudio de las disoluciones en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), pp. 35-50.
- SÁNCHEZ, G., y VALCÁRCEL, M,V. (2000). ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), pp. 423-437.
- SANMARTÍ, N., e IZQUIERDO, M. (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Alambique*, 29, pp. 71-83.
- SPEARS, M.G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, vol 6, 369-377.
- TOBIN, K y ESPINET, M. (1989). Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120.
- VERDÚ, C.R. (2004). *La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje*. Tesis Doctoral. Universitat de València. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
- VILCHES, A y GIL PEREZ, D. 2014. Chemical Education and Sustainability Science. A New and Powerful Source of Pupils' Motivation. *Educación Química* . Monográfico sobre Química y Sostenibilidad. (Pendiente de publicación).
- WANDERSEE, J.H., MINTZES, J.J y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. 177-210. En Gabel D.L (ed). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. A project of the National Science Teachers Association (McMillan Pub Co: N.York).

## 2. ¿QUÉ IDEAS SOBRE LA CIENCIA TENEMOS Y TRANSMITIMOS?

Numerosas investigaciones han mostrado que la enseñanza transmite o apoya visiones de la ciencia y del trabajo científico muy alejadas de la forma en que se construyen y evolucionan los conocimientos científicos. Dichas visiones afectan no solo a los estudiantes sino también a los profesores (en formación y en activo) y constituyen un importante obstáculo para poder desarrollar una enseñanza más eficaz.

### **¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

- Cuáles son las concepciones simplistas o deformadas de la ciencia y de la actividad científica a las que deberíamos prestar más atención para evitar su transmisión o consolidación entre los estudiantes?
- ¿Qué importancia tienen dichas concepciones para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias?
- ¿Qué podemos hacer para cambiar dichas visiones simplistas o deformadas por una imagen de la ciencia y el trabajo científico más próxima a la realidad?

*¿Qué interés puede tener el problema de las visiones simplistas o limitadas sobre la ciencia y el trabajo científico?*

Se trata de reflexionar sobre algo en lo que han insistido numerosos trabajos de Didáctica de las Ciencias: Si se quiere mejorar la enseñanza y aprendizaje de las ciencias es necesario, previamente, cambiar algunas ideas sobre la ciencia y el trabajo científico que actúan como auténticos obstáculos. En efecto:

Aunque el tema de las concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico viene siendo objeto de estudio desde mediados del siglo pasado; a finales del mismo esta línea de investigación cobró nuevo impulso debido fundamentalmente al creciente interés existente respecto a la orientación constructivista del aprendizaje de las ciencias y a sus implicaciones en la enseñanza, integrando, al mismo tiempo, las aportaciones más relevantes que para la educación científica de los estudiantes podían derivarse de la historia y filosofía de la ciencia.

Las importantes implicaciones prácticas que tienen esas ideas simplistas sobre la ciencia tanto en su enseñanza como en su aprendizaje, llevaron a algunos autores a señalar que si de verdad se quiere transformar lo que profesores y alumnos hacen en clase, es preciso plantearse previamente la modificación de la epistemología del profesorado. El cambio de las ideas simplistas y deformadas sobre la ciencia y el trabajo científico por otras más apropiadas, aparecía así como una condición necesaria para poder llevar a cabo planteamientos innovadores en la enseñanza de las ciencias, aunque este cambio, por sí

solo, no fuese ninguna garantía de que dichos planteamientos fuesen a llevarse realmente a la práctica.

### **1. ¿QUÉ VISIONES SIMPLISTAS SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA?**

Con objeto de tener una primera información acerca de las ideas existentes sobre la ciencia y el trabajo científico, puede ser útil la lectura y valoración personal de las cuestiones que se exponen a continuación.

*Leed con atención las siguientes propuestas y califícadlas entre 0 y 10 según el grado de acuerdo con lo que cada una de ellas expresa (0 mínimo acuerdo, 10 máximo acuerdo). Realizad esta actividad de forma individual y anónima.*

- 1.** Las observaciones objetivas y la realización de experimentos sobre un fenómeno determinado, acumulando toda la información posible sobre el mismo, así como el análisis cuidadoso e imparcial de los datos recogidos, ateniéndose exclusivamente a los hechos y la lógica, constituyen la base segura, sobre la que se van desarrollando los conocimientos científicos.
- 2.** Una de las principales características de los científicos es su capacidad para observar, para contemplar la naturaleza como una realidad organizada y poder descubrir así los conceptos y las leyes que la gobiernan.
- 3.** Podemos esquematizar el método científico como un potente instrumento de indagación consistente en un proceso ordenado por etapas que comienza con el planteamiento del problema y continúa con la emisión de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, etc., hasta finalizar con el análisis de los resultados y planteamiento de nuevos problemas.
- 4.** Los científicos han de fundamentar su razonamiento en lo más seguro y objetivo, basándose en los hechos y los resultados experimentales, procurando evitar las suposiciones.
- 5.** Con frecuencia se enseña una ciencia que no corresponde al estado actual del conocimiento científico. Se debería, pues, dadas las enormes exigencias de tiempo para su aprendizaje, hacer un esfuerzo por suprimir lo anticuado y centrarse en los conocimientos actuales.
- 6.** Cada problema científico ha de ser tratado y analizado autónomamente, sin mezclarlo con otras cuestiones y resultados, para evitar las confusiones que ello puede producir.
- 7.** La Ciencia ha ido enriqueciéndose y progresando de forma continua y regular, mediante acumulación paulatina de los nuevos conocimientos que se han ido descubriendo.
- 8.** El conocimiento científico ha de apoyarse en hechos evidentes, que se impongan de forma incuestionable, para poder desarrollarse así sobre una base segura.
- 9.** La esencia del lenguaje científico es la abstracción matemática: los científicos rompen con la forma imprecisa, "imaginativa", de expresarse en la vida corriente y utilizan el lenguaje riguroso de las matemáticas que, a pesar de su carácter abstracto, es el único válido para hacer ciencia, aunque resulte de difícil comprensión para la mayoría.
- 10.** Para ser un buen científico se precisa una gran capacidad de aislamiento que permita realizar un trabajo concentrado en los problemas de la Ciencia, sin que influyan preocupaciones e intereses extracientíficos.

**11.** Por su propia naturaleza, el conocimiento científico tiene un valor objetivo y es independiente de creencias políticas o religiosas. Así, por poner un ejemplo, la Ley de Newton de la Gravitación Universal ( $F=GMm/r^2$ ), constituye una expresión matemática cuya validez ha sido repetidamente contrastada y que no tiene nada que ver con creencias personales o colectivas.

**12.** El impresionante despegue de la Ciencia que se inició en el siglo XVII fue debido al trabajo, auténticamente genial, de personalidades como Galileo o Newton.

**13.** El proceso de refutación de una teoría científica se basa en deducir de la misma consecuencias observables y proceder después a comprobar si efectivamente se obtienen los resultados previstos. Basta con un resultado negativo bien contrastado para que sea necesario cambiar dicha teoría.

Por el momento no haremos ningún comentario (ni a favor ni en contra) de las proposiciones que conforman el cuestionario anterior. Más adelante, ya avanzado el tema, retomaremos estas cuestiones para proceder, si cabe, a una valoración crítica de las calificaciones aquí asignadas.

*A título de hipótesis citad algunas ideas limitadas o simplistas respecto a la naturaleza de la ciencia, los científicos y la actividad científica en general.*

En principio podría pensarse que esta actividad es escasamente productiva, ya que se está pidiendo, a sujetos probablemente afectados por ideas simplistas sobre la ciencia, que investiguen cuáles pueden ser éstas. Sin embargo, cada vez que se plantea esta actividad en un curso de formación docente con los asistentes distribuidos y trabajando en pequeños grupos, hemos podido comprobar que al crearse una situación de investigación colectiva, los profesores de ciencias (tanto en formación como en activo), suelen distanciarse con relativa facilidad de muchas de las concepciones simplistas que son fruto de una impregnación ambiental y que anteriormente no habían tenido ocasión de analizar y valorar.

Suelen referirse, por ejemplo, a la idea del científico como genio, extravagante, raro, un poco loco, hombre despistado, calvo o con pelo alborotado, con bata blanca, gafas, aspecto descuidado, etc. También a otras ideas como que la ciencia es una actividad reservada exclusivamente a superdotados, o la existencia de "recetas" en las investigaciones, la idea de que la ciencia es objetiva y neutral, etc. Conviene que el profesor del curso comente y valore las propuestas de los distintos grupos, profundizando en ellas, añadiendo información (por ejemplo resúmenes de artículos sobre el tema), comentando la posible coincidencia de las aportaciones de los distintos grupos, orientando la discusión entre ellos, etc.

En general, las propuestas elaboradas mediante este trabajo colectivo pueden finalmente ubicarse dentro de las siguientes categorías, en las que se suministra una información más detallada en torno a las visiones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico.

### **1.1. Descontextualizada**

Se trata de una deformación criticada por una abundante literatura sobre el tema: la transmisión de una visión descontextualizada, socialmente neutra de la ciencia que ignora, o tiene en cuenta muy superficialmente, las complejas relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (CTSA).

Esta visión comporta, muy en particular, una consideración superficial de la tecnología, que suele ser vista como simple *aplicación* de los conocimientos científicos, ignorando totalmente su papel en el proceso de construcción de dichos conocimientos. Sin embargo, es relativamente fácil cuestionar esta visión simplista de las relaciones ciencia-tecnología: basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de ambas para comprender que la actividad técnica ha precedido *en milenios* a la ciencia. Se puede comenzar a romper, así, con la idea común de la tecnología como subproducto de la ciencia, como un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de *artefactos*, que refuerza el supuesto carácter neutral, ajeno a intereses y conflictos sociales, del binomio ciencia-tecnología.

La incorporación, cada vez mayor, de la ciencia y la tecnología a las actividades industriales y productivas hace que hoy sea difícil (a la vez que carente de interés) clasificar un trabajo como puramente científico o puramente tecnológico.

El objetivo de los tecnólogos ha sido y sigue siendo, fundamentalmente, producir y mejorar artefactos, sistemas y procedimientos que satisfagan necesidades y deseos humanos, más que contribuir a la comprensión teórica, es decir, a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos. Ello no significa que no utilicen o construyan conocimientos, sino que los construyen para *situaciones específicas* reales y, por tanto, complejas, en las que no es posible dejar a un lado toda una serie de aspectos que en una investigación científica pueden ser obviados como no relevantes, pero que es preciso contemplar en el diseño y manejo de productos tecnológicos que han de funcionar en la vida real. Así pues, el estudio resulta a la vez más limitado (ya que interesa resolver cuestiones específicas, no construir un cuerpo de conocimientos) y más complejo, puesto que no es posible trabajar en condiciones “ideales”. Para la tecnología “el cómo” se convierte en pregunta central, por encima de “el porqué”. Un cómo que, en general, no puede responderse únicamente a partir de principios científicos puesto que al pasar de los diseños a la realización de prototipos y de éstos a la optimización de los procesos para su producción real, son innumerables (y con frecuencia insospechados) los problemas que deben resolverse. El resultado final ha de ser el funcionamiento correcto, en las situaciones requeridas, de los productos diseñados.

Por otra parte, las referencias más frecuentes a las relaciones CTSA que se incluyen en la mayoría de los textos escolares de ciencias, se reducen a la enumeración de algunas *aplicaciones* de los conocimientos científicos, cayendo en una exaltación simplista de la ciencia como factor absoluto de progreso.

Frente a esta ingenua visión de raíz positivista, comienza a extenderse una tendencia a descargar sobre la ciencia (especialmente la química) y la tecnología, la responsabilidad de la situación actual de deterioro creciente del planeta (aumento de la contaminación en todas sus formas, agotamiento de recursos naturales, cambio climático ...), lo que no deja de ser una nueva simplificación maniquea en la que resulta fácil caer y que llega a afectar, también, a algunos libros de texto. Frente a estas visiones simplistas es preciso resaltar que, son científicos quienes estudian los problemas a que se enfrenta hoy la humanidad, advierten de los riesgos y ponen a punto soluciones y que también son científicos y tecnólogos quienes han producido, por ejemplo, los compuestos que destruyen la capa de ozono, *junto a economistas, políticos, empresarios y trabajadores*. Las críticas y las llamadas a la responsabilidad han de extenderse *a todos*, incluidos los “simples” consumidores de los productos nocivos.

Cabe señalar, sin embargo, que estas concepciones simplistas de exaltación o de rechazo absoluto de la ciencia son minoritarias. Lo más frecuente es que se incurra en visiones puramente operativistas que ignoran la contextualización de la actividad científica, como si la ciencia fuera un producto elaborado totalmente al margen de las contingencias de la vida ordinaria. Se trata esta de una visión que conecta con la que contempla a los científicos como seres especiales o genios solitarios que manejan un lenguaje abstracto, de difícil acceso. La imagen descontextualizada se ve reforzada, pues, por las concepciones individualistas y elitistas de la ciencia.

### 1.2. Individualista y elitista

Ésta es, junto a la visión descontextualizada anterior (a la que está estrechamente ligada), otra de las visiones simplistas más frecuentemente señaladas y también más tratadas en la literatura. De acuerdo con ella, los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, situados por encima “del bien y del mal” y ajenos a la necesaria toma de decisiones, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos ... En particular se piensa que los resultados obtenidos por un solo científico o equipo, pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis o, incluso, toda una teoría.

A menudo, se insiste explícitamente en que el trabajo científico es un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, transmitiendo expectativas negativas hacia la mayoría de los alumnos, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual. En particular, la ciencia es presentada como una actividad eminentemente "masculina".

Se contribuye, además, a este elitismo escondiendo la significación de los conocimientos tras presentaciones exclusivamente matemáticas. No se realiza un esfuerzo por hacer la ciencia accesible (comenzando con tratamientos cualitativos, significativos), ni por mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan confusiones ni errores.

La falta de atención a la tecnología contribuye también a esta visión individualista y elitista ya que, por una parte, se obvia la complejidad del trabajo científico-tecnológico que exige la integración de diferentes clases de conocimientos (difícilmente asumibles todos por una sola persona), y por otra, se minusvalora la aportación de técnicos, maestros de taller, etc., quienes a menudo han tenido un papel esencial en el desarrollo científico-tecnológico. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. En general, basta una revisión histórica a la investigación científica para percatarse de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología, lo que cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

La imagen individualista y elitista del científico se traduce en iconografías que representan al *hombre* de bata blanca en su inaccesible laboratorio, repleto de extraños instrumentos. Conectamos así con una tercera y grave deformación: la que asocia el trabajo científico, casi exclusivamente, con ese trabajo en el laboratorio, donde el científico experimenta y observa en busca del feliz "descubrimiento". Se transmite así una visión empirio-inductivista de la actividad científica, que comentaremos seguidamente.

### 1.3. Empiro-inductivista y ateórica

Se trata, quizás, de la concepción simplista sobre la ciencia y el trabajo científico, más ampliamente estudiada en la literatura. Una concepción en la que se resalta el papel de la observación y de la experimentación neutras, objetivas, es decir, no contaminadas por ideas apriorísticas, e incluso, a veces, el de la casualidad o puro azar, olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos disponibles, que orientan toda investigación desde su inicio hasta el final.

La idea de que el conocimiento científico es objetivo e imparcial, suele estar asociada a la de que la ciencia es depositaria del conocimiento verdadero. Dicha creencia se refleja en el hecho de que cuando se quiere certificar la veracidad de algo o resaltar sus propiedades, se suele afirmar que está "científicamente comprobado". En el fondo de tales ideas subyace una concepción empirista de la ciencia, según la cual el desarrollo científico se basa en un conjunto de reglas con las que observar los hechos e inferir conclusiones utilizando para ello los datos recogidos y la lógica. Dentro de dicha concepción las opiniones personales y las especulaciones no tienen cabida. Por otra parte las observaciones (cuantas más mejor) realizadas cuidadosamente y sin prejuicios, proporcionan una base segura y sólida a partir de la cual se puede derivar conocimiento científico verdadero.

Numerosos estudios han mostrado las discrepancias existentes entre la nueva filosofía de la ciencia y, en general, la gran mayoría de las concepciones epistemológicas actuales, con ciertas concepciones docentes, ampliamente extendidas, marcadas por un empirismo extremo. Dichas concepciones están presentes también entre científicos, profesores de ciencias y estudiantes. Conviene señalar que esta idea, que atribuye la esencia de la actividad científica a la experimentación, coincide con la de "descubrimiento" científico, transmitida, por ejemplo, por los cómics, el cine y, en general, por los medios de comunicación de masas. Dicho de otra manera, parece que la visión de los profesores, o la que proporcionan los libros de texto no es muy diferente, en lo que respecta al papel atribuido a los experimentos, de lo que hemos denominado la imagen "ingenua" o "popular" de la ciencia, socialmente difundida y aceptada.

Curiosamente, aunque ésta es la deformación más estudiada y criticada en la literatura, son relativamente pocos los que se refieren a ella. Ello puede interpretarse como índice del peso que continúa teniendo esta concepción empiro-inductivista entre el profesorado de ciencias (en formación y también en activo). Es preciso tener en cuenta a este respecto que, pese a la importancia dada (verbalmente) a la observación y experimentación, en general la enseñanza es puramente libresca, de simple transmisión de conocimientos, sin apenas trabajo experimental *real* (más allá de algunas "recetas de cocina"). La experimentación conserva, así, para profesores y estudiantes, el atractivo de una "revolución pendiente", como se ha podido percibir en entrevistas realizadas a profesores en activo.

Esta falta de trabajo experimental tiene posiblemente como una de sus causas, una vez más, la escasa familiarización de los profesores con la dimensión tecnológica y viene, a su vez, a reforzar las visiones simplistas sobre las relaciones ciencia-tecnología a que hemos hecho referencia anteriormente. En efecto, el trabajo experimental puede ayudar a comprender que, como señalábamos, si bien la tecnología se ha desarrollado durante milenios sin el concurso de la ciencia, inexistente hasta muy recientemente, la



construcción del conocimiento científico *siempre* ha sido (y sigue siendo) deudora de la tecnología: basta recordar que para someter a prueba las hipótesis que focalizan una investigación estamos obligados a construir diseños experimentales; y hablar de *diseños* y de lo que suponen, es ya utilizar unos recursos asociados al ámbito tecnológico.

Es cierto que los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, por ejemplo, de un amperímetro solo tiene sentido a la luz de una buena comprensión de lo que es la corriente eléctrica y de sus efectos magnéticos), pero su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo con todas las características del trabajo tecnológico.

Cuando Galileo concibe la idea de “debilitar”, la caída de los cuerpos mediante el uso de un plano inclinado de fricción despreciable, con objeto de someter a prueba la hipótesis de que la caída de los graves constituye un movimiento de aceleración constante, la propuesta resulta conceptualmente sencilla: si la caída libre tiene lugar con aceleración constante, el movimiento de un cuerpo que se desliza por un plano inclinado con fricción despreciable también tendrá aceleración constante, pero tanto más pequeña cuanto menor sea el ángulo de inclinación del plano, lo que facilita la medida de los tiempos y la puesta a prueba de la relación esperada entre las distancias recorridas y los tiempos empleados. Sin embargo, la realización práctica de este diseño comporta resolver toda una variedad de problemas: preparación de una superficie suficientemente plana y pulida, por la que pueda deslizarse una esferita, como forma de reducir la fricción; construcción de una canaleta para evitar que la esferita se desvíe y caiga del plano inclinado; cómo soltar la esferita; forma de medir distancias y tiempos, etc. Se trata, sin duda alguna, de un trabajo tecnológico destinado a lograr un objetivo concreto, a resolver una situación específica, lo que exige una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Y lo mismo puede decirse de otros diseños experimentales.

No se trata, pues, de señalar, como a veces se hace, que “*algunos*” desarrollos tecnológicos han sido imprescindibles para hacer posible “*ciertos*” avances científicos, como, por ejemplo, el papel de las lentes en la investigación astronómica. Más bien, lo que ocurre es que la tecnología está *siempre* en el corazón de la actividad científica siendo la expresión *diseño* experimental perfectamente ilustrativa a este respecto.

Desafortunadamente, las prácticas de laboratorio escolares suelen ser escasas y no permiten a los estudiantes, incluso en la Universidad, comprender lo que supone el diseño de experimentos adecuados para someter a prueba las hipótesis, puesto que presentan montajes ya elaborados para su simple manejo siguiendo guías detalladas tipo “receta de cocina”. De este modo, la enseñanza centrada en la simple transmisión de conocimientos ya elaborados no solo impide comprender el papel esencial que la tecnología juega en el desarrollo científico, sino que, contradictoriamente, favorece el mantenimiento de las concepciones empiro-inductivistas que sacralizan un trabajo experimental, al que nunca se tiene acceso real, como elemento central de un supuesto “Método Científico”, lo que se vincula con otras dos graves deformaciones que abordaremos brevemente a continuación.

### 1.4. Rígida y algorítmica

En esta se concibe el “Método Científico” como un conjunto ordenado de etapas a seguir mecánicamente, resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguro-

so, etc., y olvidando (o, incluso, rechazando) todo lo que significa duda, invención, creatividad ... cualidades estrechamente asociadas al trabajo científico-tecnológico y que a menudo se conciben, erróneamente, como exclusivas de “las artes” y lo que es peor, como poco deseables o contraproducentes para las ciencias.

Se trata de una concepción ampliamente asumida por el profesorado de ciencias. En efecto, muchos profesores se refieren al “Método Científico” como una secuencia de etapas definidas, en las que las “observaciones” y los “experimentos rigurosos” juegan un papel destacado, contribuyendo a la “exactitud y objetividad” de los resultados obtenidos. Dicha concepción se pone particularmente en evidencia en lo que respecta a la evaluación del aprendizaje, donde la preocupación obsesiva por evitar la ambigüedad y asegurar la fiabilidad de las calificaciones, distorsiona la naturaleza misma del trabajo científico, esencialmente difuso, incierto, intuitivo... La evaluación debería tener en cuenta dicha ambigüedad, no intentar eliminarla.

Por otra parte, entre los rechazan esta visión rígida y algorítmica de la ciencia y el trabajo científico hay quienes defienden un *relativismo* extremo, tanto metodológico: todo vale, no hay estrategias específicas en el trabajo científico, como conceptual: no hay una realidad objetiva que permita contrastar la validez de las construcciones científicas, la única base en la que se apoya el conocimiento es el consenso de la comunidad de investigadores en ese campo.

La concepción dominante, sin embargo, es la algorítmica, que, como la empiro-inductivista en la que se apoya, puede mantenerse en la medida en que el conocimiento científico se transmite en forma acabada para su simple recepción, sin que ni los estudiantes ni los profesores tengan ocasión de constatar prácticamente las limitaciones de ese supuesto “Método Científico”. Por la misma razón se incurre con facilidad en una visión aproblemática y ahistórica de la actividad científica.

### 1.5. Aproblemática y ahistórica

El hecho de transmitir conocimientos ya elaborados, conduce muy a menudo a ignorar cuáles fueron los problemas que se pretendía resolver, cuál ha sido la evolución de dichos conocimientos, las dificultades encontradas, etc., así como a no tener en cuenta las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas. Se pierde así de vista que, como afirma Bachelard, que “todo conocimiento es la respuesta a una cuestión”, a un problema.

Se trata de una concepción que la enseñanza de la ciencia refuerza *por omisión*: los profesores de ciencias, tanto al ser entrevistados, como cuando resuelven distintos tipos de cuestiones relativas a la forma de introducir los conocimientos científicos, no hacen referencia a los problemas que están en el origen de la construcción de dichos conocimientos y lo mismo se aprecia en los libros de texto. La ciencia escolar presenta los contenidos conceptuales como conclusiones, como algo ya hecho, sin relación alguna con los problemas a los que esos conceptos contribuyeron a solucionar.

Conviene insistir, en la estrecha relación existente entre las deformaciones contempladas hasta aquí. Esta visión aproblemática y ahistórica, por ejemplo, hace posible las concepciones simplistas acerca de las relaciones ciencia-tecnología; en efecto, pensemos que si toda investigación responde a problemas, a menudo, esos problemas

tienen una vinculación directa con necesidades humanas y, por tanto, con la búsqueda de soluciones adecuadas para problemas tecnológicos previos. De hecho, el olvido de la dimensión tecnológica en la educación científica impregna la imagen distorsionada de la ciencia, socialmente aceptada, que pretendemos aquí sacar a la luz, tratando de superar un olvido que históricamente tiene su origen en la distinta valoración del trabajo intelectual y manual y que afecta gravemente a la necesaria alfabetización científica y tecnológica del conjunto de la ciudadanía.

Esta visión en la que la enseñanza de las ciencias incurre, por acción u omisión, está muy vinculada a otras dos deformaciones, que tienen en común olvidar la dimensión de la ciencia como construcción de cuerpos coherentes de conocimientos. Nos referimos a lo que hemos denominado visión “exclusivamente analítica” y visión “acumulativa, de crecimiento lineal” de los conocimientos científicos.

### **1.6. Exclusivamente analítica**

Es una deformación apenas mencionada y escasamente tratada por la investigación. Por supuesto, el análisis forma parte de las estrategias científicas: a menudo se necesita la parcelación inicial de los estudios e introducir simplificaciones para hacerlos abordables, pero es preciso no olvidar los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos de conocimientos cada vez más amplios, o el tratamiento de problemas "puente" entre distintos campos de conocimiento que pueden llegar a unirse, como ha ocurrido tantas veces (termodinámica, síntesis electromagnética, etc.).

Se podría pensar que esta falta de atención a una deformación que nos parece particularmente grave, sea debida a que las propuestas de tratamiento interdisciplinar e incluso de enseñanza integrada de las ciencias, hubiesen sido ampliamente difundidas y asumidas, pero no parece ser este el caso y el olvido de los procesos de unificación como característica fundamental de la evolución de los conocimientos científicos constituye, de hecho, un auténtico obstáculo en la educación científica habitual. En efecto, se ha podido constatar que la mayoría de los profesores y de los libros de texto incurren, por omisión, en esta deformación, olvidando destacar, por ejemplo, la unificación de las mecánicas celeste y terrestre que supuso la síntesis newtoniana, rechazada durante más de un siglo con condenas a la obra de Copérnico o Galileo.

Cabe añadir, por otra parte, que las propuestas de enseñanza integrada incurren, en ocasiones, en un error de signo contrario al de la visión analítica, consistente en tomar la unidad de la materia como punto de partida (y no de llegada), olvidando que el establecimiento de dicha unidad constituye una conquista reciente y nada fácil de la ciencia. Recordemos, por ejemplo, la fuerte oposición a las concepciones unitarias en astronomía (heliocentrismo), biología (evolucionismo) o en química orgánica (síntesis orgánica).

### **1.7. Acumulativa, de crecimiento lineal**

Por último, nos referiremos brevemente a una deformación, a la que tampoco se suele prestar mucha atención, y que es la segunda menos mencionada en la literatura, tras la visión exclusivamente analítica. Consiste en presentar el desarrollo científico como fruto de un crecimiento lineal, puramente acumulativo, ignorando las crisis y las

remodelaciones profundas, fruto de procesos complejos que no se dejan ahorrar por ningún modelo definido de desarrollo científico.

Esta deformación es complementaria, en cierto modo, de lo que hemos denominado visión rígida, aunque deben ser diferenciadas: mientras la visión rígida o algorítmica se refiere a cómo se concibe la realización de una investigación dada, la visión acumulativa es una interpretación simplista de la evolución histórica de los conocimientos científicos, a la que la enseñanza suele contribuir al presentar las teorías científicas hoy aceptadas sin mostrar el proceso de su establecimiento, ni referirse a las frecuentes confrontaciones entre teorías rivales, ni a los complejos procesos de cambio, que incluyen auténticas “revoluciones científicas”. En sentido amplio, pueden señalarse acontecimientos o procesos científico-tecnológicos que han producido grandes cambios como, por ejemplo, el inicio de la era industrial (asociada a la máquina de vapor). Si nos centramos en el desarrollo de la propia ciencia podemos referirnos a la síntesis de Newton de la gravitación universal, los trabajos de Lavoisier sobre el cambio químico, la teoría de la evolución de Darwin, el surgimiento de la física moderna o la teoría de la deriva de los continentes de Wegener, como ejemplos de espectaculares avances en el desarrollo científico.

El crecimiento exponencial de los conocimientos científicos considerados globalmente, hace que se produzcan frecuentes controversias argumentando a favor y en contra de ciertos aspectos científico-tecnológicos como, por ejemplo, la conveniencia o no de realizar determinadas investigaciones (genéticas, reproducción asistida, etc.), la validez de un modelo teórico o de unos resultados, el posible impacto social o medioambiental de una investigación, etc. En dichas controversias participan distintos grupos además de los propios científicos implicados, como: otros grupos de científicos, los medios de comunicación, partidos políticos, organizaciones religiosas, empresas, y la misma sociedad civil, que interactúan entre ellos de múltiples formas, pudiendo producir una aceleración enorme al desarrollo científico-tecnológico en unos campos determinados o retrasarlo en otros.

Finalmente, insistimos en que las deformaciones anteriores no constituyen una especie de “siete pecados capitales” distintos y autónomos; por el contrario: forman un esquema conceptual relativamente integrado. La actividad siguiente trata sobre esto y sirve también como una recapitulación de lo tratado hasta aquí.

*Considerad las posibles relaciones existentes entre las visiones simplistas estudiadas que hacen que globalmente conformen una imagen ingenua de la ciencia, popular y socialmente aceptada.*

Podemos referirnos, por ejemplo, a que una visión individualista y elitista de la ciencia apoya implícitamente la idea empirista de “descubrimiento” y contribuye, además, a una lectura descontextualizada, socialmente neutra, de la actividad científica (realizada por “genios” solitarios). Del mismo modo, por citar otro ejemplo, una visión rígida, algorítmica y exacta, de la ciencia, refuerza una interpretación acumulativa y lineal, del desarrollo científico, ignorando las crisis y las revoluciones científicas.

Por tanto, estas concepciones aparecen asociadas entre sí, como expresión de una imagen globalmente ingenua de la ciencia que se ha ido decantando, pasando a ser socialmente aceptada, pese a una abundante literatura, ya clásica, sobre la naturaleza de

la ciencia que, a pesar de las diferencias existentes, contrasta radicalmente con dichas visiones. De hecho esa imagen tópica de la ciencia parece haber sido asumida incluso por algunos autores del campo de la educación, que critican como características de la ciencia lo que no son sino visiones deformadas de la misma.

Las concepciones docentes sobre la naturaleza de la ciencia y la construcción del conocimiento científico serían, pues, expresión de esa imagen común, que los profesores de ciencias aceptaríamos implícitamente debido a la falta de reflexión crítica y a una educación científica que se limita, a menudo, a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados. Esto no solo deja en la sombra las características esenciales de la actividad científica y tecnológica, sino que contribuye a reforzar algunas deformaciones, como el supuesto carácter "exacto" (ergo dogmático) de la ciencia, o la visión apromblemática, que dificultan seriamente la educación científica y tecnológica. La superación de estas visiones deformadas constituye, pues, un requisito esencial para una orientación adecuada de la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas. Una orientación que debe superar la supuesta y empobrecedora confrontación, ampliamente aceptada, entre cultura humanística y tecnocientífica y contribuir a una mejor comprensión de la ciencia y la tecnología como actividades abiertas y creativas, socialmente contextualizadas.

## **2. ¿EN QUÉ CONSISTE UNA IMAGEN MÁS ADECUADA DE LA CIENCIA Y EL TRABAJO CIENTÍFICO?**

Naturalmente, no basta con analizar las posibles deformaciones respecto a la ciencia y el trabajo científico. Conviene ir un poco más allá y avanzar ideas respecto a la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico sobre las que pueda darse el mayor consenso posible.

Es necesario señalar, en primer lugar, que la naturaleza de la actividad científica ha dado lugar a serios debates, en los que se manifiestan profundas discrepancias entre los estudiosos de la historia y la filosofía de la ciencia. Ello genera, en ocasiones, una cierta perplejidad entre los investigadores en didáctica y lleva a plantear si tiene sentido hablar de "una" concepción "correcta" de la ciencia. Estas controversias o diferencias han sido señaladas también por otros investigadores como una dificultad para incluir la filosofía de la ciencia en los programas de formación del profesorado. No obstante, en nuestra opinión, a pesar de las discrepancias, sí se puede hablar de algunas características esenciales del trabajo científico, sobre las que se da un amplio consenso, sin que ello suponga adscribirse a ninguna teoría o corriente filosófica en particular. En este contexto, cabe plantear la siguiente actividad:

*¿Qué aspectos se pueden considerar realmente esenciales de la actividad científica?*

Para comenzar, hemos de cuestionar la idea misma de "Método Científico", con mayúsculas, como conjunto de reglas perfectamente definidas a aplicar mecánicamente e independientes del dominio investigado. En palabras del filósofo de la ciencia Mario Bunge:

"La expresión (*Método Científico*) es engañosa, pues puede inducir a creer que consiste en un conjunto de recetas exhaustivas e infalibles...".

No obstante, ello no significa que la investigación científica sea un proceso totalmente anárquico y que no se pueda hablar de una serie de aspectos característicos de la misma, como los que se detallan a continuación:

### **2.1. Rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de "datos puros"**

Rechazo de lo que Piaget denominó "el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos". Los datos no tienen sentido en sí mismos, sino que requieren ser interpretados de acuerdo con un sistema teórico. Así, cuando utilizamos determinados instrumentos de medición, no observamos intensidad de corriente, longitud de onda u electrones, sino señales, espectros, anillos de difracción y otros indicadores que solo adquieren significado a la luz de las correspondientes teorías. La simple observación de un fenómeno puede resultar perfectamente irrelevante si no aparece como problemática a la luz de los conocimientos existentes. Este fue el caso, por ejemplo, de las experiencias de producción de calor por frotamiento, que era un fenómeno conocido por muchas personas dedicadas a la ciencia en los siglos XVII y XVIII sin que hubiese llamado la atención de nadie. Fue necesario que se plantease el problema del carácter material o no del calor (teoría del calórico) para que la observación de dicho fenómeno resultase significativa.

Toda investigación científica comienza con el planteamiento de un problema y si bien es cierto que el origen de dicho problema puede ser diverso (observación de un hecho nuevo o imprevisto, una necesidad de tipo técnico, etc.), lo verdaderamente importante, lo relevante, es que toda situación se presenta como problemática en un momento dado, en función de las concepciones vigentes en dicho momento. En otras palabras: los conocimientos científicos no se pueden construir por simple acumulación de datos empíricos, por la sencilla razón de que los datos en sí mismos no tienen ningún sentido si no son interpretados de acuerdo con un sistema de pensamiento que les confiere un significado u otro. Cualquier investigación, incluyendo la misma búsqueda de datos, viene marcada pues por paradigmas teóricos (es decir, por visiones globales coherentes y articuladas, de conocimientos) que la orientan desde el principio hasta el final.

No obstante, durante mucho tiempo, se pensó que el método científico por excelencia era el método inductivo, consistente en un conjunto de reglas para observar fenómenos, recoger datos e inferir conclusiones. De esta forma se pasaría de la experiencia a las leyes y desde éstas a las teorías científicas sólidamente asentadas, utilizando tan solo los hechos y la lógica. Y aunque ni Bacon ni ningún otro logró jamás contribuir a la ciencia mediante tal método, la idea de que éste existe y de que es así como se desarrolla la ciencia se halla, como ya hemos visto, bastante extendida.

Es preciso insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, como origen y término del trabajo científico, en un proceso complejo y dinámico que incluye eventuales rupturas -cambios revolucionarios- del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos. Y es preciso también insistir en que en general, los problemas científicos constituyen inicialmente "situaciones problemáticas" confusas: el problema no viene dado, siendo necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones de cara a simplificarlo más o menos para poder abordarlo, clarificando el objetivo, delimitando las condiciones, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se realiza la investigación y en otros relacionados.

## **2.2. Papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente**

La importancia de este tipo de pensamiento se concreta en aspectos fundamentales -erróneamente relegados en los planteamientos empiristas- como son la invención de hipótesis y de modelos teóricos, o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas, más o menos basadas en "evidencias", sino en términos de hipótesis, que se apoyan, es cierto, en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como simples "tentativas de respuesta" que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible. Y si bien la obtención de evidencia experimental en condiciones definidas y controladas ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel, que solo cobra sentido con relación a la hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. Al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a partir de datos recogidos con anterioridad, sino mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio y sometiendo luego éstas a su contrastación. Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

Otro aspecto, esencialmente creativo, presente en la experimentación científica, es la elaboración de diseños apropiados con los que contrastar las hipótesis. Estos, naturalmente, pueden ser diferentes y conducir a los mismos resultados, aumentando así su validez. Se trata de una de las etapas (junto con la superación de las dificultades que pueden surgir en la contrastación experimental propiamente dicha) en donde la imaginación y la creatividad juegan un papel más importante.

## **2.3. Búsqueda de coherencia y de globalidad**

Trabajar en términos de hipótesis introduce exigencias suplementarias de rigor: es preciso dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos y de todo el proceso seguido para obtenerlos, lo que conduce a revisiones continuas, a intentar obtener esos mismos resultados por caminos diversos, y, muy en particular, a mostrar su coherencia con los resultados obtenidos en otras situaciones. Es necesario llamar aquí la atención contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos y contra un posible "reduccionismo experimentalista": no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una buena hipótesis (y mucho menos toda una teoría científica); se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos.

De hecho uno de los fines más importantes de las ciencias estriba en la vinculación de dominios aparentemente inconexos. En efecto, en un mundo en el que lo primero que se percibe es la existencia de una gran diversidad de materiales y de seres, sometidos a continuos cambios, la ciencia busca establecer leyes y teorías generales que sean aplicables al estudio del mayor número posible de fenómenos. La teoría atómico molecular de la materia, la síntesis electromagnética, los principios de conservación, los esfuerzos que se realizan para unificar los distintos tipos de interacción existentes en la naturaleza, etc., son buenos ejemplos de esa búsqueda de coherencia y globalidad, aunque ello se deba realizar partiendo de problemas y situaciones particulares muy concretas.

El desarrollo científico, pues, entraña la finalidad de establecer generalizaciones aplicables a la naturaleza. Precisamente esa exigencia de aplicabilidad, de funcionamiento correcto

para describir fenómenos, realizar predicciones, abordar y plantear nuevos problemas, etc., es lo que da validez (que no certeza absoluta o carácter de verdad eterna e indiscutible) a los conceptos, leyes, teorías, etc., que se van elaborando.

### **2.4. Comprender el carácter social del desarrollo científico y su contextualización**

No solo el punto de partida de toda investigación es la cristalización de las aportaciones de generaciones de investigadores anteriores, sino que toda investigación responde, cada vez más, a estructuras institucionalizadas en las que la labor de los individuos es orientada, entre otras cosas, por las líneas de investigación establecidas y por el trabajo del equipo del que forman parte, careciendo prácticamente de sentido la idea de una investigación completamente autónoma.

Más aún, el trabajo de los hombres y mujeres de ciencias (como ocurre en cualquier otra actividad humana) no tiene lugar al margen de la sociedad en que viven y se ve afectado, lógicamente, por los problemas y circunstancias del momento histórico, del mismo modo que su acción tiene una clara influencia sobre el medio físico y social en que se desarrolla. Basta recordar a este respecto algún ejemplo, como el trabajo de Darwin sobre la evolución: el silencio que este mantuvo, retrasando años su publicación, en lo que al parecer no son ajenas las ideas fijistas y creacionistas imperantes en la época, con una fuerte componente religiosa y toda la polémica que se originó. Señalar esto puede parecer superfluo; sin embargo, la idea de que hacer ciencia es poco menos que una tarea de “genios solitarios”, que se encierran en una especie de torre de marfil, desconectando de la realidad, constituye, como hemos visto, una imagen tópica muy extendida que la enseñanza lamentablemente no ayuda a superar, dado que se limita a la transmisión de contenidos conceptuales y, a lo sumo, entrenamiento en alguna destreza, pero dejando de lado los aspectos y problemas, sociales, ideológicos, medioambientales..., asociados al desarrollo científico.

### **2.5. Simplificación y control riguroso de variables en condiciones preestablecidas**

Los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas (lo que, evidentemente, les “aleja” de la realidad) y continuando con lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis y la construcción de modelos *imaginarios*. El uso de los modelos científicos (entendidos como representaciones simplificadas, parciales y provisionales de la realidad objeto de estudio) favorece una imagen menos dogmática y más dinámica de la ciencia, como algo en continua evolución. Además, constituyen herramientas especialmente útiles para profesores y alumnos ya que permiten explicar conceptos abstractos de una forma más visual y familiar, lo que cuestiona la visión elitista de una ciencia reducida a complejas ecuaciones matemáticas.

El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificadoros, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se crítica, incurrir necesariamente en visiones parciales y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia (que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada), es una de las conquistas mayores del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación y *transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue solo a fines del XIX que se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos (electri-



ciudad, óptica y magnetismo) en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida de cada día. Y no hay que olvidar que estos procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, del heliocentrismo o del evolucionismo. La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que ésta es la forma correcta de hacer ciencia, *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización la que permite, posteriormente, llegar a establecer lazos entre campos aparentemente desligados.

## 2.6. Generación y justificación de enunciados para comprender la naturaleza

Uno de los fines de la investigación científica es la generación y justificación de enunciados y de acciones con los que aumentar nuestra comprensión de la naturaleza, por lo que la enseñanza de las ciencias debería contemplar actividades con las que desarrollar la capacidad de razonar y argumentar acerca de dichos enunciados y acciones. Los estudiantes, para elaborar un diseño, proponer una hipótesis, o comparar distintos resultados, necesitan desarrollar la capacidad de escoger entre diferentes opciones posibles y argumentar las razones que justifican su elección.

Los modelos científicos explican una serie de hechos y pueden usarse para predecir otros nuevos. Los alumnos han de aprender también a construir modelos teóricos que les permitan aumentar su comprensión de determinados hechos y fenómenos naturales así como aceptar su evolución hacia otros modelos más complejos y de mayor poder explicativo. Argumentar sobre un problema o un hecho determinado suele requerir también la utilización de un modelo o marco teórico determinado. No es posible, por ejemplo, explicar satisfactoriamente la emisión de espectros discontinuos utilizando el modelo atómico de Rutherford, como tampoco lo es explicar la imposibilidad de que un vehículo pueda viajar más rápido que la luz utilizando la mecánica clásica.

**A modo de conclusión:** la idea de "método científico" ha perdido hoy sus mayúsculas, es decir, su supuesta naturaleza de camino preciso e infalible, así como su supuesta neutralidad. Ello no implica, sin embargo, negar lo que de específico ha aportado la ciencia moderna al tratamiento de los problemas: la ruptura con un pensamiento basado en estudios puntuales, en las "evidencias" de sentido común y en seguridades dogmáticas, introduciendo un razonamiento que se apoya en un sistemático cuestionamiento de lo obvio y en una exigencia de coherencia global que se ha mostrado de una extraordinaria fecundidad.

Se dibuja así una imagen imprecisa, nebulosa, de la metodología científica, lejos de toda idea de algoritmo, en la que nada garantiza que se llegará a un buen resultado, pero que representa, sin duda, la mejor forma de orientar el tratamiento de un problema científico (como atestiguan los impresionantes edificios teóricos construidos).

Puede decirse, en síntesis, que la esencia de la orientación científica se encuentra en el cambio de un pensamiento y acción basados fundamentalmente en las "evidencias" de (aparente) sentido común, a un razonamiento en términos de hipótesis y modelos teóricos, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba, cuidadosamente, las hipótesis, dudar del resultado y buscar la coherencia global).

### 3. EL CAMBIO DE LAS CONCEPCIONES SIMPLISTAS SOBRE LA CIENCIA

Lo realizado hasta aquí debe habernos permitido sacar a la luz determinadas visiones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico. Son muchas las investigaciones en las que se confirma su extensión (afectan a la propia enseñanza de las ciencias que las transmite bien por acción o por omisión) y se insiste en la necesidad de cambiarlas por otras más acordes con las concepciones epistemológicas actuales (como las que acabamos de estudiar en el punto anterior).

*Sugerid posibles diseños que puedan utilizarse como instrumentos para detectar ideas simplistas o deformadas sobre la ciencia y para cambiarlas por otras más correctas.*

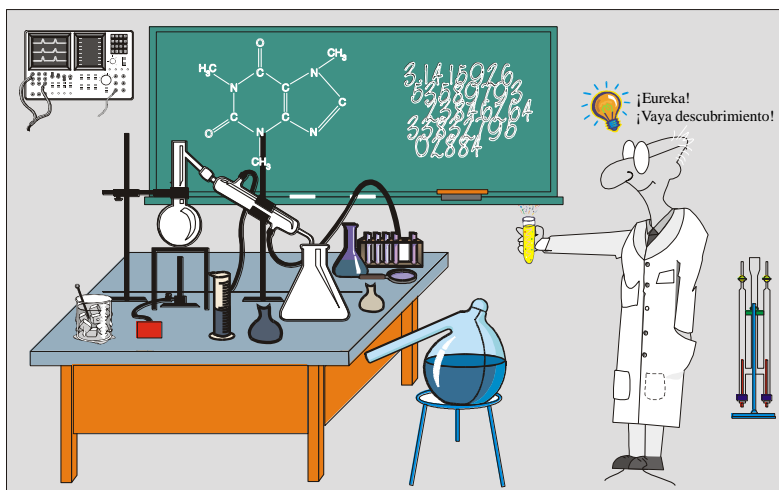
Son muchos los diseños posibles para su detección, como:

- ✓ Cuestionarios específicamente elaborados (como el utilizado al comienzo de este tema).
- ✓ Mapas conceptuales.
- ✓ Análisis de lo que en los libros de texto y en los medios de comunicación en general (cómic, prensa, novelas, películas, etc.), se señala respecto de la ciencia, los científicos y el trabajo científico.
- ✓ Análisis de los diagramas representativos de una investigación científica, presentes en muchos libros de texto.
- ✓ Realización de dibujos en los que se represente una situación en la que se esté llevando a cabo una investigación científica.

...

Estos mismos diseños, se pueden utilizar también, en el momento apropiado, como eficaces instrumentos para el cambio de tales ideas, como veremos a continuación.

*La figura siguiente representa una situación en la que se está realizando una investigación científica. En ella están ausentes muchas de las características que se consideran esenciales del trabajo científico. Cambiad la figura, dibujando todo lo que sea necesario, con el propósito de cuestionar las visiones simplistas sobre la ciencia. También se puede incluir más texto.*



No es difícil darse cuenta que en la figura anterior se incide claramente en la mayoría de las visiones deformadas que se han analizado. Concretamente:

**Visión individualista y elitista**, ya que se presenta un único investigador, varón y adornado de otros tópicos como: despistado y un poco desastre (lleva los cordones de los zapatos sin atar y un bolsillo roto), calvo, con gafas y bata blanca, fórmulas complicadas en la pizarra, etc.

**Descontextualizada**, ya que no se informa de ninguna manera acerca de qué es lo que ha descubierto, cómo, qué posibles repercusiones puede tener (sociales, medioambientales, tecnológicas, etc.) y el lugar de trabajo parece un laboratorio aislado del exterior, sin ni siquiera, teléfono, puertas o ventanas.

**Aproblemática**, puesto que no se hace ninguna referencia a que se esté investigando ningún problema.

**Empiro-inductivista**, ya que su actividad parece reducirse a la observación y experimentación en busca del descubrimiento feliz (no hay libros, ni ordenadores que puedan hacer pensar en cuerpos teóricos de conocimiento). En el laboratorio solo hay aparatos.

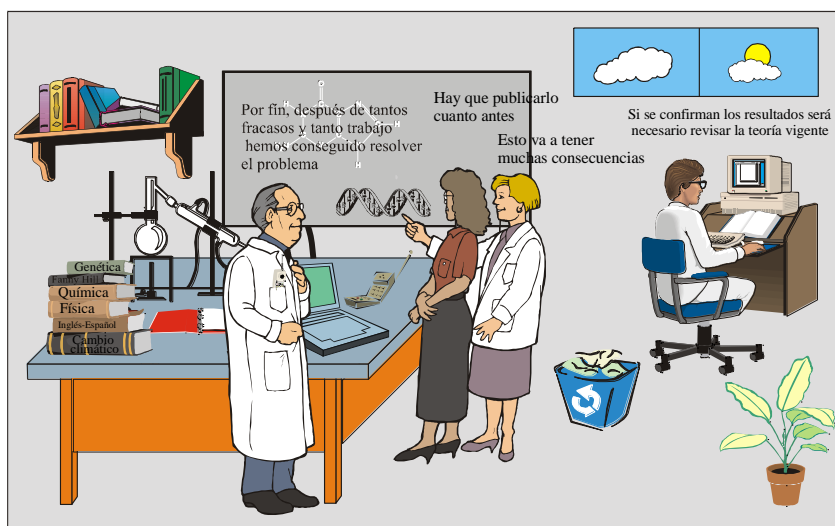
Por otra parte, se favorece también por omisión otras visiones simplistas como:

**Rígida y algorítmica**, al no decir nada de, por ejemplo, revisiones, dudas, fallos, vueltas atrás, replanteamientos, etc.

**Exclusivamente analítica**, al no plantear la posible vinculación del problema abordado con distintos campos de la ciencia.

**Acumulativa y lineal**, al no mencionarse la posible influencia del nuevo descubrimiento en el cuerpo de conocimientos vigentes en el que se enmarca la investigación.

Es posible, no obstante, salir al paso de estas visiones con relativa facilidad, tal y como se hace en la siguiente propuesta, alternativa a la figura anterior:

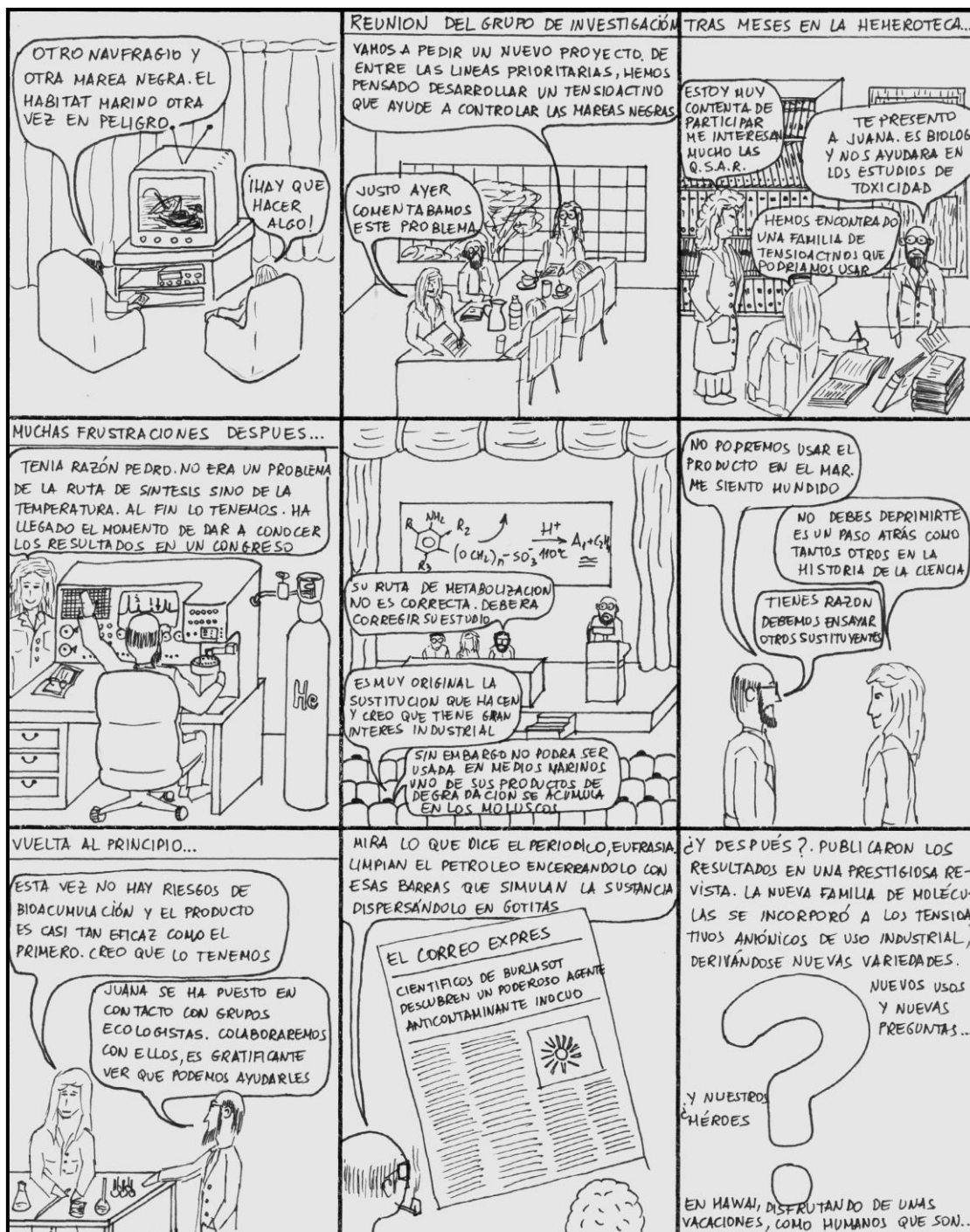


En ella se han añadido libros y ordenadores (contra visión empirista), mujeres científicas (contra visión elitista e individualista), papelera llena y una frase que indican intentos fallidos (contra una visión rígida), libros de distintas disciplinas científicas (contra una visión exclusivamente analítica), ventana al exterior y comentarios sobre consecuencias (contra una visión descontextualizada), comentarios sobre el impacto de los resultados en la teoría vigente (contra una visión acumulativa y lineal), etc.

En el diseño anterior, al limitarse a una sola viñeta, es un tanto complicado introducir todos los elementos necesarios para cuestionar las distintas visiones simplistas. Sin em-

## 2. Concepciones sobre la ciencia

bargo, estas limitaciones pueden verse disminuidas cuando lo que se pide la elaboración de un cómic, en donde ya es posible (y más sencillo) inventar alguna historia en la que reflejar la mayoría de aspectos esenciales de la investigación científica y cuestionar las diversas concepciones simplistas. A modo de ejemplo, reproducimos uno de tales cómics, elaborado por un profesor en formación.

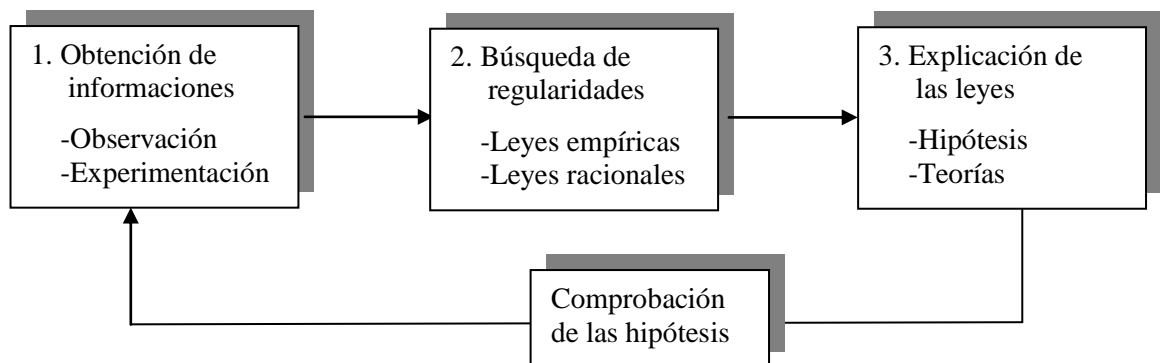


Analizad el cómic anterior, señalando qué ideas simplistas acerca de la ciencia y del trabajo científico se puede considerar que cuestiona.

Un análisis cuidadoso del cómic permite darse cuenta de que se parte de un problema (la marea negra causada por accidentes en el transporte de petróleo) el cual afecta gravemente al hábitat marino, a las costas y a la sociedad en general. El problema se recoge en los medios de comunicación (televisión) y hay un equipo interdisciplinar de científicos (mujeres y hombres) que decide documentarse e investigar para aportar alguna solución (tres primeras viñetas). Se cuestionan así las visiones individualista, aporofemática, masculina, individualista, empirista, exclusivamente analítica, y descontextualizada. En las tres viñetas siguientes se cuestiona (entre otras) la concepción rígida y algorítmica de la ciencia, al mostrar dificultades (una de ellas relacionada con el impacto negativo que tendría sobre seres vivos uno de los productos) que finalmente obligan a comenzar de nuevo ensayando otros caminos. Finalmente se procede a la publicación de resultados, aplicaciones tecnológicas y planteamiento de nuevas interrogantes surgidas a raíz de la investigación realizada. No se cuestiona la visión de la ciencia como actividad muy compleja, reservada a mentes privilegiadas, e incluso se favorece la misma, con la inclusión en la viñeta 5 de complicadas fórmulas. Tampoco podemos decir que se cuestione la visión lineal y acumulativa de la ciencia (la investigación no produce ningún gran cambio en el cuerpo de conocimientos teóricos vigente que simplemente aumenta con la incorporación de una nueva familia moléculas a los tensioactivos ya existentes).

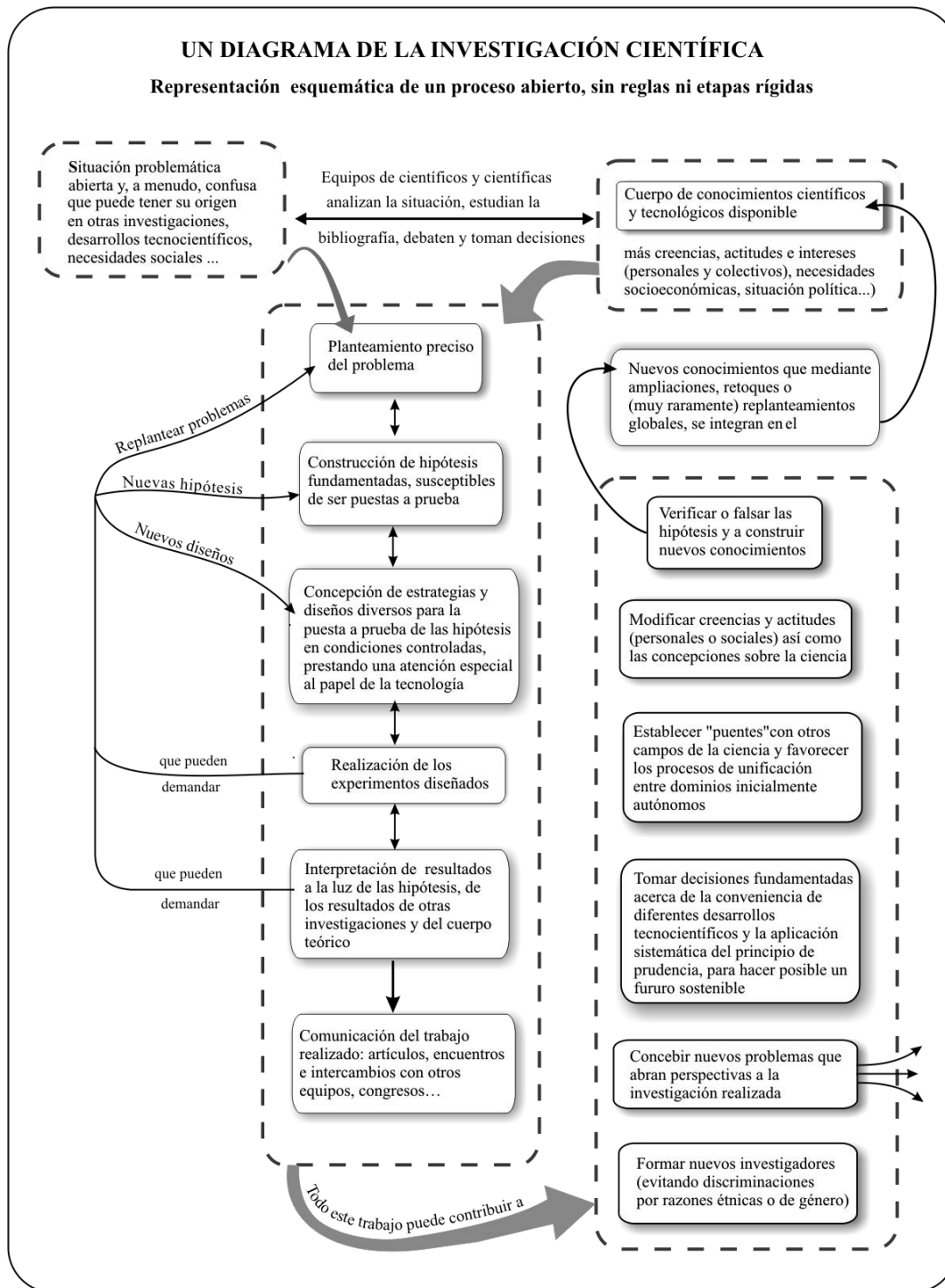
También podemos utilizar otros instrumentos. Uno de ellos, como ya hemos comentado, es el análisis de diagramas ilustrativos de una investigación científica.

*El diagrama siguiente aparece en un libro de texto como una representación del "método científico". Analizad críticamente dicho diagrama y a continuación proponed intentando salir al paso de las visiones deformadas de la ciencia que hemos estudiado.*



De nuevo resulta fácil detectar bastantes de las visiones simplistas analizadas. Desde el carácter rígido de etapas a seguir en un orden estricto a una concepción profunda y claramente empirista en la que ni siquiera hay un problema planteado, se comienza directamente a observar y experimentar, induciendo leyes a partir de las regularidades encontradas. Curiosamente, las hipótesis no se enuncian como intentos de explicación de un problema (que hay que contrastar experimentalmente) sino como intentos de explicar unas leyes. El resto de las visiones simplistas (descontextualizada, elitista, etc.), se transmiten por omisión.

Un esfuerzo por evitar las visiones simplistas e incluir todos los aspectos esenciales de la actividad científica, permite elaborar un diagrama como el siguiente:



Analizando el diagrama anterior es posible percatarse de cómo se han intentado evitar expresamente las concepciones simplistas a que nos venimos refiriendo. Así, por ejemplo, podemos ver cómo se sale al paso de una imagen masculina de la ciencia al explicitar científicos y científicas o investigadores e investigadoras; análogamente se cuestiona la visión individualista (equipos de científicos y ... congresos, artículos, etc.); la descontextualizada (implicaciones sociales, medioambientales..., modificar creencias, actitudes, etc.); la exclusivamente analítica (establecimiento de puentes entre distintos campos...); la lineal y acumulativa (que mediante ampliaciones, retoques y, más raramente, replanteamientos ...); la rígida y algorítmica (existencia de dobles flechas, posibles vueltas atrás, eliminación de ángulos rectos, etc.), la empirista y atórica (situación pro-

blemática, planteamiento preciso del problema, estudio de la bibliografía, interpretación de resultados a la luz del cuerpo de conocimientos teórico, etc.). Así mismo se transmite una imagen dinámica, no cerrada, de la ciencia (generar nuevos problemas) y se resaltan otros aspectos considerados como esenciales de la actividad científica (emisión de hipótesis, diseño experimental, búsqueda de globalidad y coherencia (los nuevos conocimientos se integran en el cuerpo de conocimientos de que se parte).

Otro instrumento es la utilización de cuestionarios. Al comienzo del tema se planteó la cumplimentación de uno, valorando con una nota numérica de 0 a 10 el grado de acuerdo con una serie de proposiciones, la mayoría de ellas coherentes con alguna de las visiones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico. Cuando hemos ensayado dicha actividad en cursos de formación del profesorado (tanto inicial como permanente), hemos podido comprobar que la mayor parte de las proposiciones son inicialmente bien calificadas. Sin embargo, la situación puede cambiar posteriormente:

*Al comienzo del tema se cumplimentó un cuestionario en el que se hacían algunas proposiciones relativas a la ciencia y el trabajo científico. Se trata ahora de, a la luz de lo visto hasta aquí, revisar críticamente dichas propuestas y, en su caso, cambiarlas por otras más acordes con la naturaleza de la ciencia y las características esenciales del trabajo científico. Conviene apoyar, siempre que sea posible, las nuevas propuestas con ejemplos o argumentos extraídos de la historia de la ciencia*

En este caso se pide no solo un análisis crítico de un cuestionario sino también una utilización de la historia de la ciencia para apoyar, en su caso, nuevas propuestas. De esta forma, las proposiciones iniciales pueden reconvertirse o complementarse ahora con otras. A continuación, a modo de ejemplo, se reproducen las propuestas del cuestionario inicial (a) seguidas de otras (b) que las cuestionan o complementan.

**1a.** Las observaciones objetivas y la realización de experimentos sobre un fenómeno determinado, acumulando toda la información posible sobre el mismo, así como el análisis cuidadoso e imparcial de los datos recogidos, ateniéndose exclusivamente a los hechos y la lógica, constituyen la base segura, sobre la que se van desarrollando los conocimientos científicos.

**1b.** Los hechos no son comprensibles ni se puede hablar de ellos independientemente de las teorías científicas. Así cuando utilizamos instrumentos de medición como, por ejemplo, un amperímetro, solo vemos una aguja que se desvía o un número, que únicamente adquieren un significado a la luz de las teorías científicas vigentes.

**2a.** Una de las principales características de los científicos es su capacidad para observar, para contemplar la naturaleza como una realidad organizada y poder descubrir así los conceptos y las leyes que la gobiernan.

**2b.** Los conceptos científicos no existen en la realidad de forma independiente. Son construcciones que se elaboran para abordar determinados problemas y cuya validez se apoya en su correcto funcionamiento dentro de los cuerpos globales y coherentes de conocimiento establecidos.

**3a.** Podemos esquematisar el método científico como un potente instrumento de indagación consistente en un proceso ordenado por etapas que comienza con el planteamiento del problema y continúa con la emisión de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, etc., hasta finalizar con el análisis de los resultados y planteamiento de nuevos problemas.

**3b.** Las estrategias científicas de investigación no pueden concebirse como un conjunto de etapas a seguir de forma ordenada, sino como una actividad creativa en la que los distintos aspectos (planteamiento de problemas, construcción de hipótesis, diseños experimentales, etc.), aparecen muy interrelacionados, exigiendo frecuentemente vueltas atrás, reformulaciones, etc.

**4a.** Los científicos han de fundamentar su razonamiento en lo más seguro y objetivo, basándose en hechos y resultados experimentales, procurando evitar las suposiciones.

**4b.** La capacidad crítica, la duda, la imaginación y la creatividad, son cualidades necesarias para el progreso de los conocimientos científicos.

**5a.** Con frecuencia se enseña una ciencia que no corresponde al estado actual del conocimiento científico. Se debería, pues, dadas las enormes exigencias de tiempo para su aprendizaje, hacer un esfuerzo por suprimir lo anticuado y centrarse en los conocimientos actuales.

**5b.** La enseñanza debe asomar a los alumnos al estado actual de algunos de campos de la ciencia. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que una comprensión adecuada del conocimiento científico actual no puede hacerse ignorando el proceso de su construcción.

**6a.** Cada problema científico ha de ser tratado y analizado autónomamente, sin mezclarlo con otras cuestiones y resultados, para evitar las confusiones que ello puede producir.

**6b.** El abordaje de los problemas científicos ha de realizarse inicialmente de forma acotada, pero sin olvidar la necesidad posterior de unificación y construcción de cuerpos de conocimientos cada vez más amplios y coherentes.

**7a.** La Ciencia ha ido enriqueciéndose y progresando de forma continua y regular, mediante acumulación paulatina de los nuevos conocimientos que se han ido descubriendo.

**7b.** La historia de la Ciencia muestra cómo el desarrollo científico-tecnológico no es lineal sino que va acompañado, en ocasiones, de crisis, periodos de estancamiento, reestructuraciones profundas, desarrollos espectaculares ...

**8a.** El conocimiento científico ha de apoyarse en hechos evidentes, que se impongan de forma incuestionable, para poder desarrollarse así sobre una base segura.

**8b.** La historia de la ciencia contiene muchos ejemplos en donde las observaciones "obvias" o de "sentido común", y muy particularmente la ausencia de análisis críticos de las mismas y de esfuerzos por concebir conjeturas alternativas, supusieron graves obstáculos para el desarrollo de los conocimientos científicos.

**9a.** La esencia del lenguaje científico es la abstracción matemática: los científicos rompen con la forma imprecisa, "imaginativa", de expresarse en la vida corriente y utilizan el lenguaje riguroso de las matemáticas que, a pesar de su carácter abstracto, es el único válido para hacer ciencia, aunque resulte de difícil comprensión para la mayoría.

**9b.** Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico comience a calcular, debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos en la mayoría de los casos pueden ser expuestos de forma sencilla y cualitativa. Cálculos y fórmulas vienen después.

**10a.** Para ser un buen científico se precisa una gran capacidad de aislamiento que permita realizar un trabajo concentrado en los problemas de la Ciencia, sin que influyan preocupaciones e intereses extracientíficos.



**10b.** El trabajo de los científicos no está desconectado de la realidad social de su época. Ésta con sus creencias, prioridades políticas, intereses económicos, problemas relacionados con el medio ambiente, etc., influye enormemente en qué, cómo y cuándo se investiga, en el uso que se hace de los logros científicos, etc.

**11a.** Por su propia naturaleza, el conocimiento científico tiene un valor objetivo y es independiente de creencias políticas o religiosas. Así, por poner un ejemplo, la Ley de Newton de la Gravitación Universal ( $F=GMm/r^2$ ), constituye una expresión matemática cuya validez ha sido repetidamente contrastada y que no tiene nada que ver con creencias personales o colectivas.

**11b.** Muchos conocimientos científicos han tenido una importante repercusión en la humanidad, no solo a causa de sus posibles aplicaciones técnicas, implicaciones sociales, ambientales, etc., sino también, por su capacidad para cuestionar determinadas ideas que, en ocasiones, pueden afectar incluso a nuestra visión del mundo. Así, por ejemplo, la Gravitación Universal de Newton vino a romper la supuesta barrera existente entre la física terrestre y la celeste ...

**12a.** El impresionante despegue de la Ciencia que se inició en el siglo XVII fue debido al trabajo, auténticamente genial, de personalidades como Galileo o Newton.

**12b.** El desarrollo científico y tecnológico, posee un carácter eminentemente social y colectivo. Ello se evidencia no solamente en el hecho de que el cuerpo teórico de conocimientos vigente aceptado por la mayoría es el fruto de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación científica responde, cada vez más, a estructuras institucionalizadas en las que la labor de los individuos es orientada por las líneas de investigación establecidas, por el trabajo en equipo, etc., careciendo prácticamente de sentido la idea de una investigación autónoma.

**13a.** El proceso de refutación de una teoría científica se basa en deducir de la misma consecuencias observables y proceder después a comprobar si efectivamente se obtienen los resultados previstos. Basta con un resultado negativo para que sea necesario cambiar dicha teoría.

**13b.** En la Ciencia no basta con que los resultados de un experimento bien realizado contradigan una teoría, para que esta haya de ser abandonada. De hecho, una buena teoría científica nunca se abandona hasta que no existe una muy clara evidencia en contra, se dispone de otra teoría alternativa capaz de sustituirla con ventaja y la nueva teoría consigue el respaldo de la mayoría de la comunidad científica. Una discrepancia entre teoría científica y observación ha de ser considerada, pues, como un problema a investigar antes que como un elemento para rechazar la teoría.

*Realizad una búsqueda por internet de noticias de prensa relativas a neutrinos que viajan más rápido que la luz (2011-2012) y mostrad cómo este experimento constituye un ejemplo más de lo que se afirma en la proposición 13b anterior.*

También es posible la utilización de textos escritos sobre determinados episodios recogidos en la historia de la ciencia acerca de alguna investigación relevante, como el que, a modo de ejemplo, se reproduce a continuación.

*Seguidamente se describe, de forma cualitativa, una investigación llevada a cabo por el doctor Semmelweis entre 1844 y 1848. Señalad cuál era el problema planteado, qué hipó-*

*tesis se emiten, qué diseños experimentales se llevaron a cabo para comprobarlas y cuáles fueron los resultados. Comentad la investigación realizada y el contexto de la época.*

Como miembro del equipo médico del hospital general de Viena, Semmelweis se sentía angustiado al ver que una gran proporción de mujeres que habían dado a luz en el departamento **A** de dicho hospital, contraían una seria y, con frecuencia, fatal enfermedad, conocida como “fiebre puerperal” o fiebre después del parto. Así en 1844, hasta 260 de un total de 3.157 madres del departamento A (un 8’2 %) murieron de esa enfermedad; en 1845 el índice de muertes era del 6’8 % y en 1846 del 11’4%. Estas cifras eran sumamente alarmantes, porque en el departamento de maternidad **B**, de ese mismo hospital (que se encontraba al lado mismo del A), el porcentaje de muertes por fiebre puerperal había sido mucho más bajo: 2’3%; 2’0% y 2’7% en los mismos años.

*Una opinión ampliamente aceptada en la época atribuía las olas de fiebre puerperal a "influencias epidémicas" que se describían vagamente como cambios "atmosféricos, cósmicos y telúricos".*

Sin embargo, para Semmelweis era difícil admitir que fuera posible que dichas influencias se manifestasen preferentemente en el departamento A y menos en el B. Una epidemia de verdad, como por ejemplo el cólera, no sería tan selectiva. Por otra parte se daba el hecho de que algunas mujeres que vivían lejos y habían dado a luz en la calle yendo de camino hacia el hospital, a pesar de ser internadas en el departamento A, no solían contraer la enfermedad.

Según otra opinión, la causa de la elevada mortandad por fiebre puerperal era el hacinamiento y la mala alimentación. Semmelweis señala a este respecto que el hacinamiento era mayor en el departamento B que en el A (en parte como consecuencia de los desesperados esfuerzos de las pacientes por evitar que las ingresaran en el tristemente famoso departamento A), lo cual debería hacer que muriesen más en dicho departamento, cuando, sin embargo, el fenómeno era justamente el contrario. Por otra parte, la alimentación era la misma en ambos departamentos.

En el año 1846 una comisión creada para investigar el asunto, atribuyó la elevada frecuencia de la enfermedad en el departamento A, a los reconocimientos poco cuidadosos a que las pacientes eran sometidas por los estudiantes de medicina que realizaban sus prácticas de obstetricia en dicho hospital.

*No obstante, a Semmelweis tampoco le convencía demasiado esta explicación ya que los daños y lesiones que se producen de forma natural durante el proceso del parto, son mucho mayores que los que podían causar los estudiantes de medicina menos hábiles. Además estaba el hecho de que en el departamento B, las mujeres eran reconocidas por comadronas que empleaban para ello las mismas técnicas y procedimientos que los estudiantes del departamento A.*

Se acudió entonces a explicaciones psicológicas. Una de ellas hacía notar que el departamento A estaba situado de forma que, un sacerdote que iba hacia la enfermería de ese departamento a llevar los últimos sacramentos a las moribundas, tenía que pasar por todas sus salas. Mientras que, para entrar en la enfermería del departamento B, no debía de atravesar ninguna de sus salas, ya que ésta tenía otro acceso más directo. Se sostenía que era precisamente la aparición de la negra figura del sacerdote, precedida por un mo-

naguillo haciendo sonar una campanilla, la que producía un efecto terrorífico y debilitaba a las pacientes de las salas, que se hacían así más propicias a contraer la enfermedad.

Para contrastar esta posibilidad, se facilitó al sacerdote otro acceso a la enfermería del departamento A, que evitaba pasar por delante de las pacientes. A pesar de ello, no se produjo ninguna variación notable en la incidencia de la enfermedad y seguían muriendo más pacientes del departamento A que del B.

Finalmente, en 1847, un médico del mismo hospital, recibió una herida penetrante en un dedo, producida por el escalpelo de un estudiante con el que estaba realizando una autopsia. Dicho médico murió poco después de padecer una agonía durante la cual mostró los mismos síntomas que se habían observado en las mujeres víctimas de fiebre puerperal. Para Semmelweis no pasó desapercibida esta observación y, aunque en aquella época todavía no se había descubierto el papel de los microorganismos en este tipo de infecciones, pensó que el escalpelo del estudiante había introducido "materia cadavérica" en la corriente sanguínea de su profesor y que ello había sido la causa de su muerte. De igual forma, las mujeres que morían por fiebre puerperal, sufrían un envenenamiento en la sangre del mismo tipo: tanto él mismo como sus colegas y los estudiantes de medicina que hacían las prácticas, habían sido los portadores de la materia infecciosa, porque todos solían llegar a reconocer a las pacientes del departamento A, poco después de haber realizado disecciones en la sala de autopsias y reconocían a las parturientas tras haberse lavado las manos de un modo tan superficial que éstas conservaban a menudo un característico olor a suciedad.

En apoyo de este razonamiento, estaba el hecho de que las comadronas que reconocían a las pacientes del departamento B, no realizaban prácticas de disección para su preparación profesional y también que la mortandad fuese menor en los casos de "parto callejero" ya que a las mujeres que llegaban con su niño en brazos, casi nunca se les sometía a reconocimiento después de su ingreso.

Para poner a prueba esta nueva posibilidad Semmelweis pensó en prevenir la fiebre puerperal destruyendo químicamente el material infeccioso adherido a las manos, mediante una disolución de cal clorurada, que se utilizaría para lavarse las manos previamente a cualquier reconocimiento de parturientas.

Se dictó una orden por la que tanto profesores como estudiantes de medicina o comadronas, debían de lavarse concienzudamente las manos con dicha solución antes de reconocer a ninguna enferma y se puso inmediatamente en práctica.

*Al poco de ponerse en vigencia dichas normas, la mortalidad puerperal comenzó a decrecer y en el año 1848 descendió hasta el 1'27% en el departamento A y el 1'33% en el B.*

No obstante, Semmelweis contó también con la oposición de algunos colegas que se negaban a admitir sus conclusiones, lo que hizo que la mortalidad aumentase otra vez de nuevo.

Mediante la actividad anterior se puede constatar hasta qué punto se han asimilado algunos aspectos esenciales del trabajo científico, como cuál fue el problema inicial planteado, qué hipótesis y consecuentes diseños experimentales se sucedieron, así como una reflexión en torno al contexto en que se realizó la investigación. Son muchos los textos

escritos sobre investigaciones científicas muy relevantes, que se pueden aprovechar para cuestionar la mayoría de las visiones simplistas que se han analizado. Al final del tema incluimos dos más en forma de anexo.

En el punto anterior se han mostrado algunas actividades mediante las cuales es relativamente sencillo evaluar en qué medida han cambiado las concepciones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico. Podemos plantearnos ahora, **qué podemos hacer en la enseñanza para potenciar una imagen de la ciencia más próxima a la realidad**, lo que, entre otras cosas, pensamos que contribuirá a favorecer una actitud más positiva hacia la ciencia y su aprendizaje; así como a formar unos ciudadanos conocedores de la problemática asociada a las relaciones entre la ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, capaces de tomar decisiones de manera fundamentada.

#### 4. ALGUNAS IMPLICACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

*Teniendo en cuenta todo lo tratado hasta aquí y, a modo de síntesis, enumerad aquellos aspectos que se deberían contemplar de forma explícita en el currículo de ciencias para superar las visiones simplistas sobre la ciencia (que dificultan su aprendizaje) y contribuir a elaborar una imagen de la ciencia más cercana a la realidad.*

La actividad anterior obliga a un esfuerzo de síntesis, de recapitulación de lo tratado hasta aquí y de atención para no olvidar ningún aspecto esencial. Una forma de realizarla, consiste en plantearse una serie de preguntas que pueden servir tanto para orientar el diseño de un tema concreto como para analizar críticamente otro ya elaborado, tales como las que , en orden aleatorio y a título de ejemplo, se enumeran a continuación:

- ¿Se presentan **situaciones problemáticas abiertas** (con objeto de que los alumnos puedan tomar decisiones para precisarlas) de un nivel de dificultad adecuado (correspondiente a su *zona de desarrollo potencial*)?
- ¿Se plantea una reflexión sobre el posible **interés de las situaciones** propuestas que de sentido a su estudio (considerando su relación con el programa general de trabajo adoptado, las posibles **implicaciones CTSA**, etc.)?
- ¿Se presta atención a potenciar las actitudes positivas y a que el trabajo se realice en un **clima próximo a lo que es una investigación colectiva** (situación en la que las opiniones, intereses, argumentos, etc., de cada individuo cuentan) y no en un clima de sometimiento a tareas impuestas por un profesor “capataz”?
- ¿Se procura evitar toda discriminación (por razones étnicas, sociales ...) y, en particular, el uso de un lenguaje sexista, transmisor de expectativas negativas hacia las mujeres?
- ¿Se plantea un **análisis cualitativo**, significativo, que ayude a comprender y a acotar las situaciones propuestas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca?
- ¿Se plantea la **emisión de hipótesis**, fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de orientar el tratamiento de las situaciones? ¿Se propone, al menos, el manejo de alguna hipótesis?
- ¿Se presta atención, en ese sentido, a la **actualización** de los conocimientos que constituyan **prerrequisitos** para el estudio emprendido?
- ¿Se plantea la **elaboración de estrategias** (en plural) incluyendo, en su caso, diseños experimentales? ¿Se pide, al menos, la evaluación crítica de algún diseño?

- ¿Se presta atención a la **actividad práctica** en sí misma: montajes, medidas, manejo de instrumentos y aparatos, precauciones a tener en cuenta (tanto para no tener accidentes como para generar los menos residuos posibles y tratar correctamente los que se produzcan) ...?
- ¿Se potencia la incorporación de la **tecnología actual** a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automatización ...) con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea?
- ¿Se plantea el **análisis detenido de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.), a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y/o de los resultados de otros autores?
- ¿Se plantea la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados ...)?
- ¿Se consideran las **implicaciones CTSA** (posibles aplicaciones, repercusiones negativas, toma de decisiones ...) y en particular la educación para la sostenibilidad?
- ¿Se pide la elaboración de “productos” (carteles, colecciones, prototipos ...)?
- ¿Se pide un **esfuerzo de integración** que considere la contribución del estudio realizado a la construcción cuerpos coherentes de conocimientos, posibles implicaciones en otros campos, etc.?
- ¿Se pide algún trabajo de construcción de síntesis, mapas conceptuales, etc., **que ponga en relación conocimientos diversos**?
- ¿Se plantea la elaboración de **memorias científicas** del trabajo realizado?
- ¿Se pide el comentario crítico de textos y artículos de prensa o noticias en general, relacionadas con temas científicos?
- ¿Se presta atención a la argumentación, solicitando comentarios y explicaciones que eviten el “operativismo mudo”?
- ¿Se hace ver que los resultados de una sola persona o de un solo equipo, no pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis?
- ¿Se potencia la **dimensión colectiva del trabajo científico** organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre los equipos y la comunidad científica (representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido, los textos, el profesor como experto ...)?
- ...

Las orientaciones anteriores no han de verse como un esquema rígido que haya que seguir paso a paso sino como una serie de aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos que, con frecuencia, no son tenidos lo suficientemente en cuenta en la educación científica. En los temas siguientes estudiaremos cómo se contemplan dichas orientaciones cuando se trata de llevarlas a cabo en determinadas actividades, claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, tales como los trabajos prácticos o la resolución de problemas.

## **ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS**

- 1.** Buscad información sobre la teoría del calórico y su proceso de cambio, en el que se dieron aspectos relevantes que cuestionan la visión empirista de la ciencia y muestran la sustitución de un concepto científico (el calórico) por otro (concepción actual del calor). Encontrad dichos datos y argumentad con ellos sobre estos dos aspectos.
- 2.** Una visión no descontextualizada de la ciencia, admite la existencia de interacciones entre el conocimiento científico y las creencias religiosas. Buscad información concreta en la teoría heliocéntrica, la ley de la gravitación universal, la teoría de la evolución de las especies y la síntesis de compuestos orgánicos, con la que apoyar estas interacciones.
- 3.** Una visión no descontextualizada de la ciencia, admite la existencia de interacciones entre el conocimiento científico y determinados intereses económicos. Buscad información concreta en torno a los avances del conocimiento científico respecto a los efectos nocivos del tabaco en el organismo humano y las campañas organizadas por compañías tabaqueras para poner en duda dichos avances. Utilizad dicha información para apoyar la existencia de tales interacciones.
- 4.** Repetid el proceso seguido en la actividad anterior, para el caso de los avances del conocimiento científico respecto del cambio climático y las campañas que se llevan a cabo para cuestionar el origen antrópico de dicho cambio o relativizar su importancia.
- 5.** Buscad la información pertinente y argumentad con datos concretos sobre las implicaciones que tuvieron para la sociedad, logros científico-técnicos tales como la máquina de vapor, el motor de explosión, la bombilla eléctrica, la penicilina y los métodos anticonceptivos.
- 6.** La idea de la ciencia como una actividad eminentemente masculina se puede integrar dentro de lo que hemos denominado una visión individualista y elitista. Para cuestionar dicha visión elaborad un listado de 10 mujeres científicas (anteriores y actuales) comentando brevemente sus contribuciones a la ciencia.
- 7.** En el tema se ha comentado que, en raras ocasiones, se producen grandes cambios en los cuerpos de conocimiento científico vigentes (lo que se conoce como cambios de paradigma). Esto ocurrió, por ejemplo, con el cambio de la llamada física aristotélico-escolástica por la mecánica clásica y también con el surgimiento de la física moderna. Buscad información sobre en qué consistieron esos cambios, sus implicaciones más importantes y sus características específicas.
- 8.** En el tema se ha comentado que una característica del trabajo científico es la búsqueda de coherencia y globalidad, lo que sale al paso de una visión exclusivamente analítica. Tal es el caso de la unión de la dinámica con el calor (termodinámica) y de la electricidad con el magnetismo (electromagnetismo). Buscad información sobre en qué época se produjo y en qué se basó cada una de dichas síntesis.
- 9.** Buscad datos relevantes con los que debatir la posibilidad de cambio de modelo energético para sustituir progresivamente de la energía basada en combustibles fósiles por la energía que se obtiene de fuentes renovables. Aspectos científico-tecnológicos, económicos, sociales, políticos y ambientales que influyen en dicho cambio.

### Referencias bibliográficas

- ABRAMS, E. y WANDERSEE, J.H. (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).
- BELL B,F y PEARSON, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14 (3), 349-361.
- BUNGE, M. (1796). *La Investigación Científica*. (Ariel: Barcelona).
- BUNGE, M. (1980). *Epistemología* (Ariel: Barcelona).
- CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773.
- CAÑAL, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique*, 24, pp. 46-56.
- CHALMERS, A.F. (1987). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo XXI de España Editores: Madrid).
- CHALMERS, A.F. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. (Siglo XXI de España Editores: Madrid).
- DESAUTELS, J y LAROCHELLE, M. (1998). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. En: Fraser B y Tobin K (Eds.) *International Handbook of Science Education*, pp. 115-116. London: Kluber.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B y RUEL, F. (1993). "La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique". *Didaskalia*, 1, pp. 49-67.
- FERNÁNDEZ, I. (1995). *La transformación de las concepciones espontáneas sobre la ciencia*. Tesis de Tercer Ciclo. Universidad de Valencia.
- FERNÁNDEZ, I. (2000). *Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación*. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universidad de Valencia.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. Y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., VALDÉS, P y VILCHES, A. (2005). *¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?* En Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago de Chile: UNESCO-OREALC. <http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- FEYERABEND, P. (1989). *Contra el Método*. Barcelona: Ariel.
- GARDNER, P.L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.
- GASKELL, P.J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, 14(3), 265-272.
- GIL D., CARRASCOSA, J., FURIO, C y MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona)
- GIL, D., FERNÁNDEZ, I., y CARRASCOSA, J. (2001). Hacia una imagen no deformada de la actividad científica. *Éndoxa. Ciencia y Educación*. Series filosóficas nº 14, pp. 227-260. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid.
- GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A. & FERREIRA-GAUCHÍA, C. (2010). Overcoming the Oblivion of Technology in Physics Education. In Vicentini, M. & Sassi, E. (Editors) *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. ICPE (International Commission on Physics Education). Pág 51-71. ISBN 0-9507510-5-0.
- GIL-PÉREZ, D; VILCHES, A; FERNÁNDEZ, I; CACHAPUZ, A; PRAIA, J; VALDÉS, P ; GUILBERT,L y MELOCHE, D. (1993). "L'idée de science chez des enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions?". *Didaskalia*, 2, pp. 7-30.
- HEWSON, P.W., KERBY, H.W. Y COOK, P.A. (1995). Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 503-520.
- HODSON D, (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

- HODSON, D. (1992a). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- HODSON, D. (1992b). Assessment of practical work: some considerations in philosophy of science. *Science Education*, 1(2), 115-144.
- HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24(1 y 2), 41-52.
- IZQUIERDO, M. 1994. ¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?. *Aula*, 27, pp. 37-40.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., BONIL, J y PUJOL, R.M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 21-28.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N., y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), pp.45-59.
- IZQUIERDO, M., VALLVERDÚ, J., QUINTANILLA, M., y MERINO, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique*, 48, pp. 78-91.
- JIMENEZ ALEIXANDRE, M.P. (1995). La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal. Publicación del departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Extremadura.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Facer Escola. Biblioteca didáctica. Galicia: Edicións Xerais de Galicia.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), pp. 203-206.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., y DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), pp. 359-370.
- KING, B. (1991). Beginning teachers' knowledge of and attitudes towards history and philosophy of science, *Science Education*, 75 (1), 135-141
- KUHN T,S. (1987). *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de cultura económica: México).
- KUHN, T.S. (1989). *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. (Paidós/ICE Universidad Autónoma de Barcelona: Barcelona).
- LAHERA, C.J. ( 1992). Revolución en la ciencia y otras revoluciones. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 6, pp. 29-37.
- LAKATOS, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid).
- LAKATOS, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. (Alianza Editorial: Madrid).
- LAKIN, S. y WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the “nature of science”? Teachers view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16(2), 175-190.
- LAUDAN, L. (1984). *"Science and values: the aims of science and their role in scientific debate"*. (University of California Press: Berkeley).
- MATTHEWS M,R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11, (12), 141-155.
- MELLADO, J, V., RUÍZ, M, C., y BLANCO, N, L. (1997). Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial de maestros. *Bordón*, 49 (3), pp. 275-286.
- MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco.
- MORENO, M. (1986). Ciencia y construcción del pensamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 57-64.
- MORENO, R. (1987). La conducta exploratoria e investigación en el niño. *Investigación en la Escuela*, 1.
- MOSTERÍN J. (1990). Prólogo al libro de Estany A., *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.



- NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- NUSSBAUM, J. (1989). "Classroom conceptual change: philosophical perspectives". *International Journal of Science Education*, vol. 11, Special Issue, pp. 530-540.
- OROZCO, A. (1995). *El problema de las concepciones espontáneas sobre la ciencia*. Tesis de tercer ciclo. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Valencia.
- POMEROY, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- POPPER, K.R. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- PRATS, F., RODADO, E., RUIZ, L Y MORENO, V. (2004). Física y Química de 4º de ESO. Edita: Voramar. Santillana. (Madrid).
- QUINTANILLA, M.A. Y SÁNCHEZ RON, J.M. (1997). *Ciencia Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.
- REIGOSA, C.E., y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 275-284.
- ROTH, W.M. y LUCAS, K.B. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students' Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 145-179.
- ROTH, W.M. y ROYCHONDHURY, A. (1994). Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 5-30.
- RUIZ, C., Da SILVA, C., PORLÁN, R., y MELLADO, V. (2005). Construcción de mapas cognitivos a partir del cuestionario INPECIP. Aplicación al estudio de la evolución de las concepciones de una profesora de secundaria entre 1993 y 2002. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1).
- SALINAS, J. (2005). Technology as 'Applied Science': a
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1994) ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? En Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene*, pp. 221- 246. Madrid: Alianza.
- Serious Misconception that Reinforces Distorted and Impoverished Views of Science, *Science Education*, 14, pp 309-320.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. En Banet, E. y De Pro, A. (Coord.). *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol.1, pp. 142-147. Murcia: D.M.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J. y SCOTT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.
- STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76(1), 1-16.
- SUCHTING, W.A. (1992). Constructivism Deconstructed. *Science & Education*, 1(3), 223-254.
- SUTTON, C. (1998). New perspectives on language in science. En B.J. Fraser and K.G. Tobin (Eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 27-38. Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- THOMAZ, M.F., CRUZ, M.N., MARTINS, I.P. y CACHAPUZ, A.F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.
- TRAVER, M.J. (1996). *La història de les ciències en l'ensenyament de la Física i la Química*. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.

## ANEXO. DOS EJEMPLOS DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS

### 1. El horror al vacío

*Leed con detalle el texto adjunto que reproduce fragmentos de una memoria de Blaise Pascal (1623-1662) junto con algunos resúmenes de otros fragmentos y señalad cualquier aspecto de la metodología científica que se vea reflejado en él. A tal efecto, proceded a cerrar entre paréntesis los diferentes fragmentos en que se vea alguno de dichos aspectos y adjuntadles un número indicativo. A continuación escribid dichos números al final del texto, señalando a qué aspectos de la metodología científica hacen referencia:*

**"...Cuando una jeringa se sumerge en el agua, al elevar el pistón el agua asciende en una bomba aspirante que no es, propiamente hablando, sino una larga jeringa.**

**...Si se introduce una botella llena de agua y boca abajo en un recipiente lleno de agua, el agua de la botella permanece sin caer.**

**Se admite que esta suspensión es debida al horror que la naturaleza tiene al vacío, que se produciría en el lugar que el agua dejaría al caer, puesto que el aire no podría sustituirla. Y ello se confirma puesto que si se practica una hendidura por donde el aire pueda penetrar, toda el agua cae incontenible...."**

Sin embargo, en 1638 Galileo había hecho notar que las bombas aspirantes de extracción de agua no podían elevarla más allá de una cierta altura; y en 1644 Torricelli, uno de los discípulos de Galileo, concibió la idea de llenar un tubo con mercurio (unas 13 veces más denso que el agua) y sumergirlo boca abajo en una cubeta llena también de mercurio: el líquido del tubo descendía hasta una altura de unos 76 cm (una treceava parte de la alcanzada por el agua).

La interpretación de estos hechos, de acuerdo con las ideas de la época, según las cuales el vacío era inconcebible, consistía en admitir la existencia de alguna materia sutil cuya naturaleza había que descubrir que llenaría la parte superior del tubo de mercurio.

Pero, para Pascal y otros físicos como Descartes, había que romper con la idea de horror al vacío y buscar otra razón de todos estos efectos. Esta razón había que buscarla en el hecho de que, en palabras del propio Pascal:

**"... el peso de la masa del aire, actuando sobre todos los cuerpos, produce los efectos que se habían atribuido al horror al vacío."**

Pascal desarrolla a partir de aquí y a la luz de las nuevas ideas, una explicación detallada de los distintos fenómenos enumerados. Pero había que establecer de una manera clara que era la presión atmosférica la que sostenía la columna de mercurio en el tubo de Torricelli. Para ello concibió que sería decisivo repetir la experiencia al pie de una montaña y en su cima, donde la presión del aire, por estar más cerca del límite superior de la atmósfera, debía ser menor, lo que se traduciría en un mayor descenso de la columna de mercurio.

El resultado del experimento, realizado en 1648 por un cuñado de Pascal en un antiguo volcán denominado Puy de Dome (Clermont Ferrand), fue muy claro: la columna de mercurio era ciertamente más corta en la cima de la montaña. Ello permitió escribir a Pascal:

**"... ¿Acaso la naturaleza aborrece más al vacío sobre los montes que en los valles, cuando hay humedad que cuando hace buen tiempo? ¿No lo odia igualmente en un campanario que en un granero o un corral?"**

**Que todos los discípulos de Aristóteles reúnan lo más potente de los escritos de su maestro para explicar estas cosas por el horror al vacío, si es que pueden. Si no, reconozcan que las experiencias son los maestros de la Física ..."**

El trabajo de Pascal, contribuyó a que se reconociese la existencia del vacío y se comprendiesen mejor los efectos de la presión atmosférica, lo cual abrió paso a la construcción de máquinas de vapor basadas en el vacío que se producía al condensar el vapor contenido en un cilindro con pistón y al efecto consiguiente de la presión atmosférica sobre dicho pistón.

*Aspectos de la metodología científica a los que se hace referencia en el texto (escribid número indicativo y a continuación el aspecto reflejado, seguido de los comentarios que creáis oportunos).*

## 2. Envenenamiento por monóxido de carbono

*Leed con detalle el texto adjunto que reproduce fragmentos de una memoria de Claude Bernard (1814-1878) junto con algunos resúmenes de otros fragmentos y señalad cualquier aspecto de la metodología científica que se vea reflejado en él. A tal efecto proceded a cerrar entre paréntesis los diferentes fragmentos en que se vea alguno de dichos aspectos y adjuntadles un número indicativo. A continuación escribid dichos números al final del texto, señalando a qué aspectos de la metodología científica hacen referencia:*

C. Bernard en el curso de sus investigaciones sobre las causas del envenenamiento por monóxido de carbono (CO) ...

... envenenó a un perro haciéndole respirar CO y procedió inmediatamente a abrir su cuerpo observando el estado de sus órganos líquidos.

Inmediatamente le llamó la atención el hecho de que la sangre de las venas tenía un color rojo vivo, típico de la sangre arterial.

Repitió la experiencia con otros animales encontrando siempre el mismo resultado: la sangre venosa envenenada tenía idéntico aspecto (rojo vivo) que la sangre arterial.

Reflexionando sobre este hecho, C. Bernard escribió:

**"El color rojo vivo, me dije, es característico de la sangre arterial y está en relación con la presencia de oxígeno en una fuerte proporción, mientras que la coloración negra, característica de la sangre venosa, se debe a la desaparición del oxígeno y a una mayor presencia de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por consiguiente se me ocurrió que el CO, al hacer persistir el color rojo vivo en la sangre venosa, habría tal vez impedido que el oxígeno pasara a formar CO<sub>2</sub> en los capilares. Me parecía sin embargo difícil de comprender cómo esto podía ser la causa de la muerte ...**

**... pero si mis razonamientos eran correctos, la sangre tomada de las venas de los animales envenenados por CO, debería de contener oxígeno, tal y como ocurre en la sangre arterial."**

C. Bernard, hizo pasar entonces hidrógeno por la sangre venosa de un animal envenenado por CO, esperando que, tal y como ocurre en la sangre arterial, éste hidrógeno se uniera al oxígeno, poniendo así en evidencia la existencia de éste último en la sangre venosa envenenada.

El resultado del experimento fue negativo. Sin embargo le sugirió nuevas ideas:

**"Puesto que no había oxígeno en la sangre venosa envenenada, ni tampoco había tenido lugar el proceso normal de paso de oxígeno a CO<sub>2</sub>, quizás el CO era el que había desplazado al oxígeno de la sangre".**

Mezcló entonces, CO con sangre arterial de un animal sano dentro de un recipiente cerrado y al cabo de cierto tiempo analizó el gas contenido en dicho recipiente, constatando que se había enriquecido notablemente en oxígeno mientras que había disminuido la cantidad de CO inicialmente presente.

**"Estas experiencias repetidas en las mismas condiciones, me enseñaron que se había producido un simple intercambio volumen a volumen entre el CO y el O<sub>2</sub> de la sangre. Pero el CO, quedaba fijo en la sangre sin poder ya ser desplazado ni por el O<sub>2</sub> ni por otros gases".**

Más tarde se comprobó que el CO se combina fuertemente con la hemoglobulina de la sangre, haciendo que los glóbulos sanguíneos queden como mineralizados, perdiendo así sus propiedades vitales y produciéndose la muerte. Como resultados de estos estudios, C. Bernard no solo explicó la causa del envenenamiento por CO, sino que puso a punto un nuevo método de análisis de gases de la sangre que se generalizó rápidamente y abrió perspectivas sobre el mecanismo de ciertas anemias.

*Aspectos de la metodología científica a los que se hace referencia en el texto (escribid número indicativo y a continuación el aspecto reflejado seguido de los comentarios que creáis oportunos).*

### 3. ¿CUÁL DEBERÍA SER EL PAPEL DE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS?

Los trabajos prácticos constituyen un aspecto clave del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias al que, tanto por parte del profesorado como del alumnado, se concede una importancia fundamental. Este hecho se debe en gran parte a las virtualidades que ambos colectivos atribuyen, de entrada, a la realización de este tipo de actividades. Comenzaremos, pues, por plantearnos cuáles son dichas virtualidades.

*Proceded a una reflexión acerca de las funciones más importantes, que los trabajos prácticos deberían desempeñar en el aprendizaje de las ciencias.*

A mediados del siglo pasado, la enseñanza de las ciencias seguía centrada principalmente en la transmisión verbal de contenidos ya elaborados con una ausencia prácticamente total de trabajos experimentales. En Estados Unidos, la insatisfacción con dicho modelo hizo surgir un movimiento de renovación (en el que destacan nombres como Dewey, Bruner, etc.), que se propuso promocionar los métodos de la ciencia frente a los propios contenidos de las materias científicas. Bajo la influencia de este modelo, se elaboraron a partir de los años sesenta, grandes proyectos de enseñanza como los Nuffield y el PSSC en Física, el CBA y el CHEM en Química, el BSCS en Biología, etc., que fueron desarrollados y experimentados principalmente en los países anglosajones.

En el marco anterior, los trabajos prácticos pasaron a ocupar un lugar preferente en la enseñanza de las ciencias en general y de la Física y Química en particular, no solo por el indudable **poder motivador** que a priori se les concede, sino también por la gran capacidad que se les atribuye para **familiarizar a los alumnos con la metodología científica**.

No es de extrañar, pues, que las llamadas al método científico y la insistencia en los trabajos prácticos como eje vertebrador de la enseñanza de las ciencias se convirtieran en los principales puntos de referencia de la mayoría de los intentos de renovación en la Didáctica de las Ciencias. Por lo que respecta a España y a pesar de las recomendaciones oficiales, la falta de instalaciones y material adecuado, el excesivo número de alumnos por aula, y los programas enciclopédicos, han impedido, en opinión de muchos profesores, este cambio curricular, de forma que el paso a una enseñanza de las ciencias eminentemente experimental aparece aquí, todavía, como una especie de "revolución pendiente" y no son pocos los alumnos que señalan la ausencia de prácticas como el principal defecto de la enseñanza recibida.

Sin embargo, los resultados de esta reorientación, allí donde se llevó a cabo, no fueron tan positivos como inicialmente se había previsto. En palabras de Ausubel:

"Como los términos *laboratorio* y *método científico* se volvieron sacrosantos en las preparatorias y las universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos pero inherentemente triviales del método científico. En realidad con este procedimiento, aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico".

No vamos a insistir aquí en los abundantes análisis que han mostrado, con toda claridad, el fracaso del paradigma de aprendizaje por descubrimiento, tanto en lo que se refiere a la adquisición de conceptos como en lo que respecta a la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Este fracaso no puede atribuirse, sin embargo, a que resulte inadecuado incluir entre los objetivos de la educación, la familiarización de los alumnos con las características del trabajo científico, sino a la incorrecta concepción de la ciencia que subyacía en las propuestas de aprendizaje por descubrimiento: el inductivismo extremo, junto con otras visiones simplistas, en que dicho modelo incurría; la falta de atención a los contenidos con énfasis en aspectos conceptuales; la insistencia en una actividad completamente autónoma de los alumnos, etc., tienen poco que ver, en efecto, con la imagen actual de lo que constituye el trabajo científico, tal y como hemos podido apreciar en el tema anterior.

Actualmente sabemos que la motivación y el interés que puedan tener los alumnos hacia las ciencias, constituye un factor esencial para un mejor aprendizaje de sus contenidos. Si las actividades experimentales tienen esa potencialidad, no cabe duda de que resulta de gran importancia didáctica su aprovechamiento para generar una actitud más positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

La familiarización de los alumnos con la metodología científica se reconoce también, oficialmente, como una **competencia básica** a desarrollar, contemplando aspectos procedimentales muy importantes del trabajo científico, tales como el planteamiento de problemas, la elaboración de hipótesis a modo de intentos de explicación, los diseños experimentales, el análisis de resultados, el trabajo en equipo, etc.

#### **¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

Los trabajos prácticos son vistos casi como las únicas actividades que permiten una verdadera familiarización de los alumnos con la metodología científica y, a su vez, poseen un gran potencial motivador hacia el aprendizaje de las ciencias. Cabe entonces que nos planteemos:

- ¿Qué visiones simplistas de la ciencia y el trabajo científico pudieran estar apoyando (bien por acción u omisión) las prácticas de laboratorio habituales?
- ¿Qué criterios habría que tener en cuenta para reorientar las prácticas de laboratorio y conseguir que puedan contribuir de una forma más eficaz a la familiarización con la metodología científica a la vez que aumentan su poder motivador para el aprendizaje de las ciencias?

En el tema anterior tras analizar algunas visiones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico se propusieron unas orientaciones generales a contemplar en la enseñanza de las ciencias, con las que superarlas y favorecer el proceso de aprendizaje. Se trata ahora de concretar esas orientaciones en el caso de los trabajos prácticos para, posteriormente, hacerlo también en otros aspectos claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias como la resolución de problemas de lápiz y papel y la propia evaluación.

## 1. ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENEN LAS PRÁCTICAS HABITUALES?

*Estudiar colectivamente las prácticas de laboratorio que se presentan al final de este tema (anexo 1) y efectuar un análisis crítico de la forma en que se plantean.*

El **anexo 1** está formado por dos ejemplos de prácticas de laboratorio extraídas de dos libros de texto. No es difícil darse cuenta de cómo se apoya en ellas una imagen simplista de la ciencia y el trabajo científico. Dicha imagen se hace muy evidente por su carácter de “simples recetas” (visión **algorítmica y rígida** de la actividad científica); su énfasis, en la realización de mediciones y cálculos así como el objetivo explícito de observar y experimentar para inducir leyes (visión **empirista**) y la ausencia de otros muchos aspectos fundamentales tales como a qué cuestiones se pretende dar respuesta (lo que contribuye a una visión **aproblemática**), el posible interés del trabajo planteado (visión **descontextualizada**, socialmente neutra) la elaboración de hipótesis y diseño de los experimentos, el análisis crítico de los resultados, sus posibles implicaciones, planteamiento de nuevos problemas, etc.

Por otra parte, la mayoría de los trabajos prácticos se presentan en los libros de texto bien como punto de partida del tema, para llevar a inducir nuevos conocimientos, o bien al final del mismo como ilustración-comprobación de los contenidos previamente impartidos. Además, se favorece la idea de que basta con los resultados de un único experimento para validar o refutar una hipótesis, sin necesidad de buscar la necesaria coherencia con otros resultados y con los conocimientos ya establecidos.

Insistimos en que resulta fundamental que los estudiantes tengan ocasión de participar en la elaboración de diseños experimentales, en vez de seguir guías detalladas ya preparadas por los profesores, dado el papel central que juega dicho diseño en la investigación y, muy en particular, para que adquieran una correcta visión de las relaciones ciencia-tecnología. Es cierto que los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, por ejemplo, de un amperímetro, señalábamos en el tema anterior, solo tiene sentido a la luz de una buena comprensión del electromagnetismo), pero también se debe tener en cuenta que su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo, con muchas de las características del trabajo tecnológico. Sin embargo, el papel de la tecnología en el desarrollo científico no es tenido en cuenta en la mayoría de las prácticas de laboratorio, dado que éstas presentan los diseños experimentales como simples recetas ya preparadas y excluyen así la vivencia de las relaciones ciencia-tecnología y cualquier reflexión al respecto.

Todas estas críticas coinciden, básicamente, con las recogidas en la literatura acerca del tema, que es ya bastante extensa. En resumen, pues, las prácticas habituales, no solo tienen una presencia escasa en la enseñanza de las ciencias, sino que la frecuente orientación de las pocas que suelen realizarse como algo que poco o nada tiene que ver con la naturaleza del trabajo científico, contribuye a una imagen distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Se justifica así la necesidad de proceder a una reorientación de las mismas.

## 2. ¿CÓMO REORIENTAR LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO?

Las investigaciones sobre prácticas de laboratorio han generado un amplio consenso en torno a la conveniencia de orientarlas como actividad investigadora. Incluso autores que señalan la conveniencia de realizar distintos tipos de prácticas según los objetivos que se pretendan conseguir, reconocen que las mejores son aquellas que tienen un nivel de indagación alto. El consenso existente en cuanto a la necesidad de esta reorientación merece ser resaltado, pero es necesario ir más allá y mostrar de forma concreta, acompañada con ejemplos ilustrativos, lo que cada cual entiende por "prácticas como investigaciones". En caso contrario corremos el peligro de que dicha expresión no pase de ser un simple eslogan, atractivo pero escasamente operativo, mientras una mayoría del profesorado sigue prestando escasa atención a las prácticas de laboratorio.

*¿Qué aspectos esenciales del trabajo científico convendría integrar en las prácticas de laboratorio para no caer (por acción u omisión) en las visiones simplistas de la ciencia que hemos criticado anteriormente y darles una orientación investigativa?*

En general, una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación, ha de integrar otros aspectos esenciales de la actividad científica, además de los meramente experimentales. A continuación comentaremos brevemente algunos de ellos.

### 2.1. Sobre el planteamiento del problema

*Dad una opinión fundamentada de cuál puede considerarse la primera etapa de una investigación científica.*

Con esta actividad se pretende argumentar en torno a si se puede considerar o no a la **observación** como primera etapa de toda investigación. Se puede concretar más, pidiendo que se discuta acerca del tipo de observación que, en principio, podría dar lugar a una investigación científica (más o menos fortuita, más o menos objetiva, etc.). De esta forma es posible apoyarse en la discusión y realizar algunas puntualizaciones como las siguientes:

**a)** La observación es un proceso selectivo y requiere un foco de atención y un propósito. Hacer una observación presupone un punto de vista del mundo, el cual sugiere qué observaciones pueden ser hechas y merecen hacerse.

**b)** Toda investigación científica comienza generalmente con el planteamiento de una situación problemática abierta y a menudo confusa, cuyo origen puede estar tanto en la observación de un hecho nuevo o imprevisto, como en una necesidad de tipo técnico, etc. No obstante, lo verdaderamente importante, lo relevante, es que toda situación se presenta como problemática en un momento dado, a la luz de las concepciones vigentes en ese momento.

Es decir, se trata de superar la idea empirista de que los datos observados son objetivos y neutrales, de que a partir de la simple observación se puede construir la ciencia, y resaltar que toda investigación viene marcada por el paradigma teórico vigente, que juega un papel esencial desde el mismo planteamiento del problema, utilización de la bibliografía, etc., hasta la interpretación y aceptación final de los resultados.



Todo lo anterior tiene importantes implicaciones en una enseñanza de las ciencias que pretenda ser realmente coherente con la metodología científica y, en particular, en la propia concepción de los trabajos prácticos que, **desde esta óptica, no pueden plantearse ni como punto de partida inductivista de donde derivar conocimientos, ni como simple ilustración de la "teoría" vista anteriormente.** Por el contrario, habrán de responder a situaciones problemáticas de interés, que surgen en el desarrollo de un tema en el momento en que ello se produzca, teniendo en cuenta todo aquello que el alumno ya sabe respecto al problema que se le plantea.

Por otra parte, no basta con el simple enunciado de un problema para que podamos hablar de ciencia. Es necesario que dicho problema se formule de manera precisa, delimitando las condiciones concretas en que se aborda. Dicha delimitación es consecuencia de la necesidad que tenemos de descomponer un fenómeno complejo en partes más fácilmente abordables, procediendo así a una labor de análisis, que es un aspecto esencial del trabajo científico. Este enunciado preciso del problema requiere la recopilación y estudio de toda la información disponible en torno al mismo que se considere relevante (búsqueda bibliográfica). En todo este proceso (que puede durar más de la mitad del tiempo total de la investigación), pueden influir notablemente creencias opiniones e intereses diversos, tanto personales como colectivos.

Consecuencia de la necesidad de descomponer el problema en partes fácilmente abordables (análisis) es el control de las variables que intervienen y la limitación del campo de validez de los resultados obtenidos. El profesor de ciencias, ha de hacer ver esto a sus alumnos y evitar la tendencia de los mismos a generalizar acríticamente, a fijarse tan solo en una variable, a aplicar expresiones fuera de su campo de validez, etc.

De acuerdo con las consideraciones anteriores:

- ✓ Conviene plantear los trabajos prácticos cuando surja su necesidad en el proceso de construcción de conocimientos, esto es: a partir de una situación problematizada y, en general, con el fin de contrastar unas determinadas hipótesis, superando la tendencia habitual de plantearlos al final de los temas como simples ilustraciones de conocimientos teóricos ya dados, o bien como punto de partida con la pretensión ingenua de que los alumnos a partir de los datos obtenidos en el laboratorio induzcan los conocimientos. El problema ha de ser planteado de manera precisa con el fin de hacerlo fácilmente abordable y ha de tener un nivel de dificultad adecuado para los alumnos.
- ✓ Considerar cuál puede ser el interés de la situación problemática abordada. Esta discusión además de proporcionar una concepción preliminar y favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permite una aproximación funcional a las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (CTSA) que continúan siendo (pese a su gran importancia), uno de los aspectos más olvidados o peor tratados.
- ✓ Realizar alguna búsqueda bibliográfica o hacer referencia al marco teórico dentro del cual se sitúa el trabajo práctico.

#### 2.2. Sobre la emisión de hipótesis

*Exponed las ideas que se posean sobre el concepto de hipótesis científica, señalando sus características esenciales.*

Una reflexión como la que se plantea en la actividad anterior permite dejar claro el concepto de hipótesis científica como una conjetura verosímil, que se suele hacer con vistas a la contrastación experimental de un problema. Este requisito de verosimilitud pone el acento, de nuevo, en el importante papel de los conocimientos existentes en el momento en que se elabora la hipótesis, al cual hay que referirse de forma explícita para fundamentarla teóricamente. No obstante, más importante que el grado de verosimilitud es que sea susceptible de contrastarse experimentalmente ya que, *en algunos casos, las ideas existentes pueden actuar como obstáculos*. En la historia de la ciencia podemos encontrar ejemplos de cómo las hipótesis más “atrevidas” en relación con los conocimientos y creencias existentes, validadas por la contrastación experimental, son las que han producido avances más espectaculares. Por otra parte, la posibilidad real de contrastación es una diferencia esencial entre las ciencias y las pseudociencias como, por ejemplo, la astrología o la parasicología.

Interesa destacar también que la elaboración de hipótesis, constituye una de las características más importantes del trabajo científico y que, sin la existencia de hipótesis más o menos explícitas, no puede hablarse de verdadera investigación científica (en todo caso de trabajos de recopilación, descriptivos, etc.). Esto es importante ya que, aunque en la mayor parte de los libros de texto se habla de las hipótesis en general como característica fundamental de la investigación científica, ello no siempre se refleja después en las diversas actividades que se proponen, como ocurre por ejemplo los trabajos prácticos, en donde suelen estar ausentes. Es preciso pues, superar los planteamientos tipo "receta" de los trabajos prácticos, en donde se le da todo hecho al alumno; el cual no ha de plantearse ningún problema ni tampoco realizar ninguna conjetura, limitándose a seguir cuidadosamente una serie de instrucciones detalladas que le son proporcionadas, perdiendo así la ocasión de practicar algunos de los aspectos más creativos del trabajo científico.

Por otra parte, es necesario evitar que los alumnos saquen falsas impresiones como, por ejemplo, que basta con que los resultados de un experimento confirmen (contradigan) una hipótesis para proceder inmediatamente a aceptarla (rechazarla), o la idea de que un experimento escolar es lo mismo que un experimento científico. Si admitimos, por ejemplo, que todos los cuerpos cuando son dejados caer desde una misma altura en condiciones de rozamiento despreciable tardan el mismo tiempo en llegar al suelo, caen con la misma aceleración, independientemente del valor de su masa, no es porque lo hayamos comprobado en la clase o en el laboratorio escolar y obtengamos este resultado, sino porque muchos científicos, mediante la realización de experiencias realizadas en condiciones cuidadosamente controladas, han llegado repetidamente a la misma conclusión y también porque las consecuencias que de ella se derivan llevan a resultados coherentes dentro de la mecánica clásica. Todo ello permite conectar, con otra característica esencial del trabajo científico: la búsqueda de globalidad y coherencia.

En consecuencia, los alumnos deben:

- ✓ Tener la ocasión de desarrollar su imaginación y su creatividad mediante actividades como la invención de hipótesis (que permite conectar con sus ideas de partida, acertadas o no) y, en particular, deben tener la oportunidad de desarrollar una de las capacidades asociadas al razonamiento hipotético-deductivo: el control de diversas variables, indispensable para el buen desempeño y comprensión del trabajo de laboratorio.
- ✓ Operativizar las hipótesis y sacar consecuencias que permitan su contrastación.
- ✓ Plantear, cuando sea posible, situaciones límite que puedan darse en el problema estudiado y que puedan afectar de manera clara a las hipótesis planteadas. Por ejemplo, cuestiones como ¿qué pasaría con tal hipótesis si tal o cual variable se anulase?, pueden servir para que los alumnos manejen dichas situaciones límite, cuyas previsiones habrán de analizar luego al interpretar los resultados.

### **2.3. Diseño experimental y realización propiamente dicha de experiencias**

*Enumerad cuáles son los requisitos y las características más importantes en el diseño y la realización propiamente dicha de un experimento científico.*

Observación cuantitativa, control riguroso de las variables y reproducibilidad, son tres aspectos que conviene tener en cuenta. Interesa destacar además otras cuestiones relacionadas, tales como las siguientes:

- a) La importancia de un buen planteamiento del experimento, es decir, del diseño experimental, como una etapa previa a la propia realización, que posee un indudable carácter creativo (lo mismo que la superación de las dificultades tecnológicas o imprevistos varios que suelen surgir durante la realización).
- b) Los experimentos se suelen realizar con el propósito de contrastar unas hipótesis determinadas. Es decir, la recogida de datos mediante evidencia experimental, ocupa un lugar central en toda investigación, pero se trata de una actividad que solo cobra sentido cuando responde a los intereses de contrastar unas hipótesis mediante la elaboración de unos diseños concebidos con ese propósito.
- c) El trabajo científico en general y la experimentación en particular, tiene un carácter social y colectivo. Este se manifiesta entre otras cosas en la reproducibilidad de los experimentos realizados, de forma que en las mismas condiciones han de volverse a obtener los mismos resultados. De hecho la réplica reiterada por otros investigadores (o mejor equipos de investigadores) de un experimento determinado, obteniendo resultados coincidentes, se considera una condición necesaria para que dichos resultados puedan ser aceptados por el resto de la comunidad científica.

Por otra parte, la experimentación científica y en general toda la investigación, se realiza, cada vez más, por equipos de trabajo, careciendo de sentido la idea de una investigación autónoma, si bien es cierto que en cada grupo siempre existen personas más experimentadas que impulsan la investigación, ponen al corriente a los nuevos, dirigen el trabajo a realizar, etc. En todo este proceso, como ya hemos señalado, juega un papel fun-

### 3. Los trabajos prácticos

---

damental el cuerpo teórico de conocimientos vigente, que no hay que olvidarlo, es fruto de generaciones de investigadores precedentes.

El profesor puede realizar en clase, el papel de "investigador experimentado", portavoz también de los conocimientos científicos aceptados en la actualidad, orientando el trabajo de los diferentes grupos de alumnos, suministrando información cuando sea necesario, etc.

En algunas experiencias se puede recurrir a presentar tablas de resultados obtenidos por científicos en condiciones rigurosas, con aparatos precisos, etc., como una forma de contrastar hipótesis que ha llevado a resultados concordantes con los obtenidos en clase. Es posible, incluso, plantear a los alumnos problemas tales que no se disponga de los medios necesarios para su estudio y pedirles que emitan hipótesis, elaboren posibles diseños para contrastarlas, etc., dándoles después las tablas de datos obtenidos en un hipotético laboratorio externo, para que los analicen, etc., sin que tengan ellos que realizar la parte experimental. Análogamente, conviene que los alumnos realicen los trabajos prácticos en pequeños grupos, de forma que estos respondan así a una labor colectiva, se pueda analizar la coherencia de los resultados obtenidos por los distintos grupos, etc.

**d)** Los experimentos científicos o más precisamente, la utilización que se haga de sus resultados, pueden tener importantes implicaciones en la sociedad y en el medio ambiente. A su vez, la tecnología, la economía, la política o las creencias religiosas, influyen también en la experimentación científica, por ejemplo, posibilitando, dando prioridad, u obstaculizando, determinadas investigaciones.

**e)** Cuando se está realizando un experimento científico, los datos, anotaciones, etc., se hacen de una forma personal que puede ser incluso un tanto desordenada y poco convencional, pero cuando se quiere dar a conocer los resultados, el científico está obligado a hacerse entender, a utilizar un lenguaje claro para todos sus colegas, con normas y símbolos aceptados internacionalmente, etc. Del mismo modo, los alumnos han de presentar las memorias de sus trabajos prácticos siguiendo unas pautas determinadas que conviene aclarar desde el principio.

**f)** Finalmente resaltar el hecho de que la consideración y análisis de los nuevos conocimientos producidos mediante la experimentación científica puede permitir que se planteen nuevos problemas a investigar.

Este último aspecto contribuye a dar una imagen de la ciencia como algo vivo y en continua evolución, como un conjunto de conocimientos cada vez mayor, pero también cada vez con un mayor número de problemas sin resolver. Unos trabajos prácticos coherentes con dicho aspecto, serían por ejemplo, aquellos en los que, una vez obtenidos los resultados, se planteasen a la luz de los mismos nuevos problemas (que pueden tratarse posteriormente o en cursos superiores).

En resumen pues, en un trabajo práctico con orientación investigativa, los alumnos han de tener oportunidad de:

- ✓ Proponer sus propios diseños experimentales, discutiendo los detalles a tener en cuenta, su viabilidad, comparar posibles alternativas, etc. Se trata, como ya hemos

señalado anteriormente, de una de las etapas más creativas del trabajo científico a la que hay que prestar la atención necesaria.

- ✓ Analizar las posibles formas de medir las variables que intervienen y decidir los instrumentos más adecuados (lo que implica a su vez conocer sus características más importantes como, intervalo que puede medir, sensibilidad, manejo, etc).
- ✓ Controlar las variables que influyen en el problema a estudiar.
- ✓ Planificar detalladamente los pasos a seguir en la realización propiamente dicha del experimento, preparar las tablas para la recogida de datos, cómo interpretar los resultados, etc.
- ✓ Tener en cuenta todas las precauciones posibles, tanto en lo que hace referencia al propio proceso de medida, como en lo que se refiere a los peligros físicos (quemaduras, salpicaduras, heridas ...) e impacto medioambiental (generación y gestión de posibles residuos, consumo de energía y productos ...), que pudieran tener lugar.

Además, conviene que:

- ✓ Cuando se vaya al laboratorio ya se tenga todo pensado y solo haya que efectuar el montaje experimental y tomar medidas (aunque sobre la marcha siempre surge algún imprevisto al que hay que dar solución). Esta etapa puede saltarse en alguna ocasión (por ejemplo, cuando los montajes son complicados, falta de tiempo, hay peligro de daños o de contaminación ambiental, etc.) y ser sustituida, dando a los alumnos las tablas de resultados obtenidos por otros (por ejemplo, fotocopiando de algún libro, revista, etc.) para que los analicen o bien utilizando simulaciones en ordenador. El profesor deberá estar atento y evitar situaciones discriminatorias como la que se produce cuando los chicos pretenden manipular y utilizar a sus compañeras como simples “secretarias” que han de limitarse a tomar notas y finalmente ... ordenar y limpiar todo.
- ✓ En alguna ocasión se realice alguna experiencia que responda a distintos diseños, con el fin de contrastar una misma hipótesis, comparando los resultados obtenidos en cada caso y analizando la coherencia de los mismos. En otros casos, un experimento puede prestarse a que distintos grupos de alumnos se encarguen de diferentes partes del mismo, comunicándose después los resultados parciales, para su tratamiento y obtención de conclusiones finales.

#### **2.4. Sobre el análisis de los resultados y conclusiones finales.**

*¿En qué consiste el análisis de los resultados? ¿Qué aspectos habría que contemplar en dicho análisis?*

Como es lógico se trata de analizar en qué medida los resultados obtenidos apoyan la validez de las hipótesis elaboradas o, por el contrario, las contradicen. Éste análisis puede obligar, en su caso, a realizar determinados replanteamientos (revisar diseños, hipótesis iniciales, o, incluso, el mismo planteamiento del problema). Hay que prestar una atención particular a la interpretación física de los resultados, su campo de validez, su fiabilidad, su coherencia con los obtenidos por otros equipos, etc.

### 3. Los trabajos prácticos

---

En definitiva, se trata de que los propios alumnos:

- ✓ Analicen críticamente los resultados obtenidos. Este análisis, además de centrarse en comprobar en qué medida se cumplen las hipótesis de partida, tendría que incluir alguna reflexión sobre el campo de validez, verificar las situaciones límite que puedan haber sido establecidas, valorar el margen de precisión obtenido, etc.
- ✓ Tengan presente al carácter social del experimento científico, analizando la coherencia con otros resultados. Se trata de que los alumnos comparen los resultados obtenidos por los distintos grupos, que analicen tablas de resultados obtenidos mediante experimentos realizados en condiciones mucho más rigurosas (que les puede suministrar el profesor), etc. De esta forma se resalta el hecho de que no bastan los resultados de un único experimento (y mucho menos de un experimento escolar), para dar por confirmada una hipótesis.

Además, conviene:

- ✓ No dar una imagen cerrada de la investigación científica. Mencionar, una vez completado el análisis de resultados y exposición de conclusiones, la posibilidad de nuevas vías de investigación, de nuevos problemas planteados y relacionados con el tema, aunque no vayan a abordarse inmediatamente.
- ✓ Pedir a los alumnos que al final presenten una memoria del trabajo práctico realizado, estructurada de forma que quede claro cuál ha sido el problema planteado, las hipótesis emitidas, etc. Incluyendo además los comentarios oportunos sobre la realización propiamente dicha, imprevistos a los que hubo que enfrentarse, errores cometidos y detectados a «posteriori», precauciones tomadas (personales, medioambientales...), etc. Esta labor se considera como una herramienta de aprendizaje que fuerza al estudiante a pensar acerca del experimento a la vez que le hace practicar un aspecto fundamental del trabajo científico.

Todos los aspectos anteriores, no han de verse como una serie ordenada de etapas para seguir las todas mecánicamente, ya que no se pretende que constituyan ningún algoritmo sino tan solo un recordatorio de la riqueza del trabajo científico. Mostraremos con un ejemplo concreto, cómo esta orientación puede realmente llevarse a cabo. Hemos elegido con ese objeto una investigación clásica sobre la caída de graves (para estudiantes de enseñanza media), con el fin de que puedan apreciarse las diferencias con los tratamientos habituales. Posteriormente se pueden analizar otros ejemplos (ved **anexo 2** incluido al final del tema).

### 3. UN EJEMPLO ILUSTRATIVO: EL ESTUDIO DE LA CAÍDA DE GRAVES

La realización de esta práctica se propone cuando se ha procedido ya a la construcción (planteada también como una investigación) de las magnitudes que permiten describir el movimiento de un objeto, así como las ecuaciones que resultan en el caso de que la rapidez sea constante o lo sea la aceleración. Precisamente, dichos conceptos y ecuaciones tienen un carácter de *construcciones tentativas*, de hipótesis de trabajo, y se trata ahora de constatar su validez para el estudio de los movimientos reales, como el de caída de los graves que

aquí se propone, es decir, de constatar su capacidad para describirlos y predecir resultados contrastables experimentalmente.

### **3.1. Consideración del posible interés de la situación planteada**

*Considerad el posible interés que tiene el estudio de la caída de los cuerpos*

Conviene insistir en la importancia de esta discusión previa acerca del interés del estudio planteado: una orientación investigadora como la que aquí se propone es incompatible con la inmersión de los estudiantes en una tarea cuya finalidad y sentido se les escape. Esto es lo que suele hacerse, sin embargo, incluso cuando existe la voluntad de plantear la tarea como una investigación. Se argumenta al respecto que los alumnos difícilmente podrán conocer las razones que muestran la relevancia del estudio planteado y su posible interés. De hecho, cuando se les plantea dicha reflexión en esta práctica, inicialmente apenas se les ocurre nada, más allá de algunos tópicos como "se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana" u otros del mismo estilo. Pero, una vez "roto el hielo" van surgiendo toda una variedad de argumentos (relativos al lanzamiento de objetos desde diferentes lugares, al movimiento de los proyectiles, etc.) que, además de favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permiten una aproximación funcional a las relaciones CTSA y favorecen la adquisición de una concepción preliminar de dicha tarea. Conviene puntualizar, sin embargo, que lo más importante no es que los estudiantes sean capaces de dar abundantes y valiosos argumentos sobre el interés de la situación planteada, sino que se modifique la actitud con que enfocan la tarea, haciéndola más relevante, menos "ejercicio escolar".

El profesor tiene, claro está, un papel esencial en esta discusión: le corresponde resaltar y "amplificar" los argumentos dados por los estudiantes y añadir otros, intentando relacionarlos con los que ellos han utilizado. Así, la idea de que "se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana" puede dar lugar a que el profesor resalte algunos aspectos como, en primer lugar, la importancia de recurrir a un movimiento muy común, relativamente simple y fácil de reproducir, para comenzar a estudiar la validez de los conceptos introducidos hasta aquí. Se puede insistir, a ese respecto, en que los investigadores comienzan, en general, con el planteamiento de situaciones sencillas, acotadas, para pasar después a otras más complejas. Si queremos conocer un movimiento con importantes aplicaciones prácticas como el lanzamiento de un proyectil (por citar un ejemplo habitualmente mencionado por los estudiantes) es conveniente comenzar por la situación más elemental, que es, precisamente, la de su caída cuando se le suelta desde una cierta altura.

Por otra parte, el hecho de que se trate de un movimiento reiteradamente observado, permite también hacer una predicción "inquietante": su estudio nos llevará a constatar -puede anunciarse a los estudiantes- que muchas cosas que nos son familiares, resultan sistemáticamente mal interpretadas. Ello les aproximará a una característica esencial de la actividad científica: la necesidad de cuestionar lo que parece obvio, evidente o de "sentido común". Una predicción como ésta, realizada con cierto énfasis, genera un cierto "suspense" y refuerza el interés del trabajo que se va a realizar.

Cabe señalar, por último, que al evaluar la nueva orientación de los trabajos prácticos, los estudiantes valoran muy positivamente esta reflexión inicial y la consideran uno de sus elementos más importantes y motivadores.

### 3.2. Análisis cualitativo inicial de la situación y precisión del problema

La discusión acerca de la importancia del estudio planteado contribuye, como ya hemos señalado, a que los estudiantes comiencen a formarse una concepción preliminar de la situación problemática. Ello les permite ahora (sin la brusquedad que supone "entrar en materia" directamente), realizar un análisis cualitativo más detenido, que les ayude a acotar la situación y transformarla en un problema preciso. A tal objeto se puede plantear la siguiente actividad:

*Teniendo en cuenta las experiencias cotidianas ¿qué puede decirse, a título de primeras conjeturas, acerca del movimiento de caída de los cuerpos?*

En la discusión aparecen dos núcleos de ideas:

- ✓ Muchos de ellos piensan que cuanto mayor sea la masa del cuerpo más rápidamente llegará al suelo, aunque algunos otros puedan cuestionarlo, porque *recuerdan* haber estudiado en algún curso precedente que el tiempo de caída es independiente de la masa.
- ✓ Se trata de un movimiento de velocidad creciente, tal vez uniformemente acelerado.

Conviene centrarse, en primer lugar, en la hipótesis de la influencia de la masa. Como vemos, el debate ha permitido sacar a la luz, de un modo natural, las preconcepciones que tienen los alumnos sobre el fenómeno estudiado. Diversas investigaciones han mostrado, en efecto, lo persistente que resulta la creencia, en estudiantes de distintos niveles de enseñanza, acerca de que la rapidez de la caída depende de la masa del cuerpo, de tal forma que a doble masa, en igualdad de las restantes condiciones, ha de corresponder la mitad de tiempo de caída. Pero estas preconcepciones adquieren ahora el estatus de hipótesis que deben ser sometidas a prueba y, en caso de verse falsadas, sustituidas por otras, etc.

Cuando se pide a los estudiantes que fundamenten su hipótesis, avanzan argumentos que pueden ser parcialmente ciertos (como "el cuerpo que pesa más es atraído con una fuerza mayor") pero que conducen a conclusiones incorrectas. El argumento principal, sin embargo, es la experiencia reiterada de ver caer, en general, lentamente a objetos muy ligeros y más rápidamente a los más pesados. Es esta "evidencia" la que se impone... y la que merece ser cuestionada, sin detenerse, por ahora, en mayores fundamentaciones, que obligarían a consideraciones dinámicas prematuras y podrían debilitar el muy conveniente "choque" producido por la falsación de la hipótesis.

*Proceded a someter a prueba las hipótesis acerca de la influencia o no de la masa en el tiempo de caída.*

La experiencia que consiste en dejar caer a la vez dos cuerpos "pesados" pero de masas muy diferentes permite a los estudiantes constatar claramente que la duración de la caída y la masa no guardan entre sí la proporcionalidad inversa que se esperaba sino que, al parecer, el tiempo de caída es, en general, independiente de la masa. Pero se plantea también la discusión de por qué cuerpos "muy ligeros", como una hoja de papel, una pluma, etc., caen tan lentamente, haciendo surgir la idea de que ello sea debido a la resistencia del aire. Conviene, pues, proponer la siguiente actividad:

*Diseñad distintas experiencias para mostrar que, si se hace despreciable la fricción con el aire, todos los cuerpos caen prácticamente en el mismo tiempo.*



Los alumnos sugieren, a menudo, la utilización de un tubo largo de vidrio del cual se pueda extraer el aire. Galileo, en el siglo XVII, no pudo realizar esta experiencia porque en aquella época aún no se había construido la bomba de vacío, y tampoco hoy muchas escuelas cuentan con tales bombas y con el tubo de vidrio adecuado para realizarla. Ello obliga a solicitar otros diseños, aunque valorando como se merece esta propuesta de los estudiantes, que constituye la forma de contrastación más directa.



Se proponen entonces otros ingeniosos diseños para reducir la resistencia del aire, similares a los que recoge la historia de la ciencia: colocar la hoja de papel sobre un libro y dejarlos caer; hacer caer verticalmente la hoja de papel colocándola, para ello, junto a un libro también vertical; "arrugar" la hoja de papel hasta transformarla en una pequeña bola. Los tres diseños, y particularmente el último, llevan a la conclusión de que, en ausencia de resistencia del aire, el tiempo de caída es independiente de la masa de los cuerpos. El profesor puede añadir que, en efecto, se han hecho experiencias científicas muy rigurosas (mucho más que las que se puedan realizar en un laboratorio escolar) y todos los resultados obtenidos confirman esta misma conclusión.

Los estudiantes se han visto obligados, pues, a *modificar* su hipótesis inicial y, al propio tiempo, a *replantear* la investigación, acotándola con mayor precisión: ahora se trata de estudiar la caída de los cuerpos en ausencia de resistencia del aire (o cuando ésta es despreciable). Esto es algo que merece ser resaltado, pues es una buena ocasión para que perciban el carácter no lineal de una investigación.

Nos ocuparemos, en lo que sigue, de la segunda de las hipótesis inicialmente formuladas, teniendo ahora en cuenta las precisiones introducidas sobre la ausencia de resistencia del aire.

### **3.3. Operativización de la hipótesis acerca de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado**

Dado que no podemos medir directamente la aceleración de caída para comprobar si es constante o no, es necesario *derivar consecuencias contrastables*, que hagan dicha hipótesis operativa:

*Deducid, a partir de la hipótesis de que la caída de los cuerpos tiene lugar con aceleración constante, alguna consecuencia directamente contrastable.*

Esta derivación implica el manejo del cuerpo de conocimientos disponible, poniendo de manifiesto, una vez más, el importante papel que éste juega a lo largo de toda la investigación. Los estudiantes, tras concluir que las únicas medidas directas posibles, en el estudio de un movimiento, son las de distancias y tiempos, y habiendo deducido ya las ecuaciones

del movimiento uniformemente acelerado, recurren a la ecuación  $e = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ , para el caso de que la velocidad inicial sea cero (donde "e" es la posición del móvil sobre la trayectoria, "a" la aceleración tangencial o aceleración sobre la trayectoria y "t" el tiempo).

La hipótesis operativa es, pues, que la relación entre los tiempos "t" de caída desde distintas alturas y los valores "e" de dichas alturas podrá ser descrita mediante la ecuación:

$$e = k \cdot t^2$$

en la que k es una constante.

#### **3.4. Elaboración de estrategias para someter a prueba las hipótesis formuladas**

*Diseñad experimentos para contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado.*

Los estudiantes, de entrada, suelen proponer dejar caer una pequeña bola de acero, para disminuir al máximo el efecto de la resistencia del aire, desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los valores obtenidos se ajustan o no a la relación prevista. Es necesario hacerles notar que los tiempos de caída son tan pequeños que no es posible realizar medidas precisas de los mismos en esas condiciones (para que se den cuenta de ello basta con pedirles que dejen caer la bola desde una cierta altura y que varios estudiantes intenten medir el tiempo de caída, comprobando la gran dispersión de los valores obtenidos y, en definitiva, la imposibilidad de realizar esa medida). Conciben entonces la posibilidad de fotografiar la caída de la bola, al lado de una cinta métrica, "con una cámara que dispare automáticamente a intervalos de tiempo regulares y muy breves". Este procedimiento de fotografía estroboscópica ha sido utilizado en este tipo de medidas con muy buenos resultados y así conviene hacérselo notar a los estudiantes a modo de refuerzo de sus planteamientos.

La idea de la automatización aparece como algo básico para evitar los problemas de coordinación entre el instante de soltar la bola y la puesta en marcha del cronómetro. En ese sentido surge también la propuesta de utilizar relojes electrónicos, que se pongan en marcha al soltarse la bola y se paren al chocar ésta contra un tope. Aquí es pertinente señalar que en calidad de reloj electrónico puede emplearse un ordenador, lo que permitiría, además, elevar el nivel de automatización en la realización del experimento. En particular, teniendo en cuenta su capacidad para almacenar datos en memoria, parece lógico intentar, utilizando determinados sensores, el registro de las distancias y los tiempos en un movimiento único, evitando así la necesidad de repetir varias veces las experiencias de caída. Por otra parte, disponer de los datos en la memoria del ordenador posibilitaría, mediante un programa informático elaborado al efecto o profesional, el procesamiento inmediato de ellos. Estas ideas merecen ser resaltadas como ejemplos de aproximación a los actuales *principios tecnológicos de la automatización de experimentos*, lo cual debe constituir uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias en la actualidad.

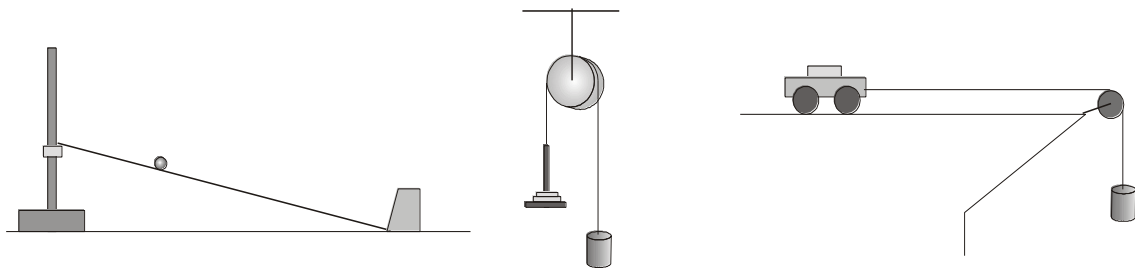
Pese al interés de las propuestas precedentes, conviene hacer notar a los estudiantes que en la época de Galileo no se disponía, obviamente, de medios adecuados ni para la medida precisa de los tiempos ni para la automatización. Ello le llevó a concebir la posibilidad de "debilitar" la caída, haciéndola más lenta. Se trataba de imaginar algún movimiento aso-

ciado a la caída de los cuerpos pero que tuviera lugar más lentamente. Esto constituye una estrategia ingeniosa para "salir del impase" y merece la pena que los estudiantes se planteen dicha tarea como un ejemplo de la creatividad que exige, en todo momento, el desarrollo de una investigación:

*Concebid distintos procedimientos para "debilitar" la caída de los cuerpos, pero sin desvirtuar su naturaleza de caída en ausencia de fricción.*

Cabe señalar que, en ocasiones, algunos estudiantes conocen ya el experimento del plano inclinado provisto de una pequeña acanaladura rectilínea por la que rueda una bola, de aquí que la actividad solicite *varios* procedimientos. Los estudiantes encuentran inicialmente serias dificultades para imaginar un diseño adecuado y sus primeras propuestas suelen incluir fuerzas de resistencia ("dejar caer la bola en un tubo lleno de agua", "colgar la bola de un pequeño paracaídas"...).

La discusión de las propuestas anteriores y la insistencia del profesor en que se trata de lograr que el cuerpo caiga más lentamente *sin introducir* fuerzas de fricción que desvirtúen el movimiento conduce, sin embargo, a propuestas adecuadas (además de la de dejar caer la bola por un plano inclinado) como, por ejemplo, colgar dos masas iguales de los extremos de un hilo que pasa por una polea sin rozamiento apreciable y colocar una pequeña sobrecarga en uno de los extremos. Otro diseño parecido y habitualmente propuesto consiste en utilizar un carrito que pueda moverse por un plano horizontal con fricción despreciable, del que tira (con ayuda de una cuerda y polea fija al extremo del plano) un pequeño cuerpo que cae verticalmente.



Es preciso insistir en que merece la pena tener algo de paciencia y permitir que los estudiantes lleguen a concebir estos diferentes diseños, pues ello constituye una excelente ocasión para que entren en contacto con una de las tareas más creativas y satisfactorias del trabajo científico (lamentablemente escamoteada en muchas prácticas habituales, en las que el diseño se da ya a los alumnos totalmente elaborado). Una tarea que, como ya hemos señalado, pone de relieve el papel central de la tecnología en el desarrollo científico.

Se puede proceder ahora a realizar *alguno* de los experimentos diseñados sin el peligro de que sean vistos como tareas tediosas, sin interés y sin vinculación con lo que es la ciencia actual.

#### 3.5. Planificación y realización de los experimentos

Aunque al llegar a este punto se posee ya una concepción general de los diseños, ello no significa que ahora quede una actividad puramente manipulativa:

*Realizad el experimento relativo a la caída de una bola por un plano inclinado.*

El plano inclinado puede sustituirse con éxito por un riel de aluminio de los que se utilizan para instalar las persianas de unos 2 m de largo, señalando longitudes con un rotulador de tinta permanente. Incluso en un diseño tan elemental como éste, desde el punto de vista técnico, surgen numerosos problemas que deben ser resueltos. Por ejemplo, *¿Cómo soltar la bola para no comunicarle velocidad inicial?* Una forma es colocar una regla delante de ella y retirarla de golpe solo hacia delante para iniciar el movimiento. O también: *¿Cómo medir con precisión el tiempo empleado en el recorrido?* Respecto a esta cuestión, conviene que el alumno que retira la regla sea el mismo que maneja el cronómetro (para que así puedan hacerse mejor ambas cosas simultáneamente). Por otra parte, interesa colocar un tope al final del plano de forma que el sonido del choque de la bola contra él sirva de señal para parar el cronómetro. También es preciso tener cuidado en *medir correctamente la longitud de riel recorrida por la bola*, no moverlo durante el experimento, etc.

En general basta con tomar 4 o 5 valores distintos de longitud recorrida por la bola, realizando al menos tres medidas de tiempo para cada una de las longitudes y tomando el valor medio. Si se tienen en cuenta todas las precauciones señaladas suelen obtenerse resultados muy aceptables. No obstante, las dificultades de coordinación existentes entre soltar la bola y poner en marcha el cronómetro (y lo mismo para cuando la bola llega al final del recorrido), hacen ver la conveniencia de automatizar el proceso, por ejemplo, con ayuda de un ordenador. Esto requiere (si los estudiantes carecen de experiencia en este campo) una intervención mucho más directa del profesor, pero la comprensión básica de los montajes y del programa informático requerido está al alcance de los estudiantes y permite la vinculación de esta investigación con elementos fundamentales de la tecnología actual.

No es necesario, sin embargo, proceder en este momento a un estudio detenido de todo el proceso de automatización, programas informáticos, etc. Ello constituye, en sí mismo, una investigación tan exigente o más que el estudio del movimiento a que estamos procediendo. Por eso puede ser más adecuado, aquí, limitarse a *utilizar* los medios disponibles y dejar planteado, como perspectiva futura, el estudio detenido de sus fundamentos, aplicaciones generales, etc. Se trataría, pues, de presentar brevemente a los estudiantes el montaje que va a utilizarse -siguiendo su propuesta de automatización- y pedirles la realización del experimento, que ahora puede ser, directamente, la caída vertical, gracias a la mayor precisión alcanzada en la medida de los tiempos:

*Llevad a cabo el experimento relativo a la caída vertical, automatizando las mediciones de tiempo con ayuda de un ordenador.*

Por último, si se dispone de una cámara fotográfica que permita realiza fotografías estroboscópicas, (la mayoría de las actuales cámaras digitales lo hacen) se puede proceder a la realización de este experimento, o bien a proporcionar a los estudiantes la fotografía obtenida "por otros investigadores":

*La figura que se proporciona muestra la fotografía estroboscópica de una bola que se dejó caer desde cierta altura. Proceded a la construcción de una tabla de las posiciones que va ocupando la bola, en función del tiempo.*

Los estudiantes han de efectuar la lectura cuidadosa de distintas posiciones ocupadas por la bola (con ayuda de la cinta métrica que aparece en la misma foto) y el cálculo de los tiempos correspondientes.

Ésta puede ser una buena ocasión para recordar que la verificación de una hipótesis implica, en general, el trabajo de numerosos equipos, y que no tiene sentido pensar que un solo equipo ha de realizar todos los experimentos posibles. Lo que sí es necesario es poner en común los distintos resultados obtenidos y constatar en qué medida son coherentes entre sí. Ello nos remite, pues, al análisis de los resultados.

### **3.6. Análisis y comunicación de los resultados y de las perspectivas abiertas**

*Analizad e interpretad los resultados obtenidos en los experimentos realizados.*

Para procesar los datos obtenidos también puede emplearse algún programa informático. Los resultados conseguidos con el plano inclinado utilizando un cronómetro manual se ajustan, con un cierto margen de imprecisión, a la relación  $e = kt^2$ .

La automatización de la medición del tiempo mejora muy sensiblemente los resultados, incluso para la caída vertical desde pequeñas alturas. En este caso el gráfico de  $e = f(t^2)$  es una clara línea recta, sin apenas desviaciones de los puntos experimentales, y lo mismo ocurre con los datos de la fotografía estroboscópica.

Se puede ir un poco más lejos en el análisis de los resultados y solicitar a los estudiantes que determinen el valor de la aceleración de caída libre (en experimentos de caída vertical directa) y lo cotejen con el que se proporciona en los libros de texto:

*Determinad el valor de la aceleración de caída libre, a partir de los datos obtenidos.*

Los valores obtenidos para esta aceleración son, en general, muy próximos al valor aceptado por la comunidad científica, lo que tiene un efecto particularmente motivador para los estudiantes.

Todos los resultados apoyan, pues, la hipótesis de la aceleración de caída constante. Ésta era, por lo demás, la hipótesis inicial. Podría pensarse, por ello, que quizás no era necesario un tratamiento tan detenido y que una simple verificación con un único experimento bastaba. Sin embargo, es preciso dejar bien patente que la aceptación de un resultado por la comunidad científica tiene muy serias exigencias que obligan a la obtención de una multiplicidad de resultados en distintas situaciones y a mostrar la coherencia de todos ellos. Ésta es la mejor forma de romper con aceptaciones acríticas de las "evidencias de sentido común" como, por ejemplo, la creencia de que los cuerpos caen tanto más aprisa cuanto mayor es su masa. Debemos ser conscientes, a este respecto, de que, aunque dicha hipótesis ha sido claramente falsada con los experimentos realizados en la primera parte de esta investigación, la superación permanente de estas ideas espontáneas no puede ser el resultado de algunos experimentos como los realizados, sino que exige la adquisición de un cuerpo de

### 3. Los trabajos prácticos

---

conocimientos coherente y global y, más aún, una nueva forma de razonar, de enfrentarse a los problemas. De hecho, los estudiantes no pueden explicarse por qué cuerpos de distinta masa caen con la misma aceleración; y no lo harán mientras no se apropien del sistema de conceptos de la mecánica newtoniana. Por ello, a pesar de los resultados obtenidos en esta investigación, bastantes estudiantes vuelven a utilizar sus esquemas iniciales en cuanto se varía ligeramente el contexto. Dicho de otro modo, los cambios conceptuales, tal y como estudiaremos en el tema 5, no se producen con tratamientos puntuales, sino como resultado de la adquisición de un cuerpo de conocimientos capaz de desplazar, de forma global, las concepciones iniciales. Esto es algo que debe quedar claro al discutir las perspectivas abiertas por la investigación:

*Considerad las perspectivas abiertas, susceptibles de originar nuevos estudios.*

Muchas de las perspectivas han sido consideradas ya en los momentos oportunos durante el desarrollo de la investigación, pero al finalizar ésta conviene recapitularlas. Podemos referirnos así, entre otras tareas que han quedado pendientes, a:

- ✓ Explicar el hecho de que en ausencia de resistencia del aire todos los cuerpos caen con la misma aceleración.
- ✓ Extender la investigación al estudio de otros movimientos de interés práctico, como el de los proyectiles.
- ✓ Investigar los factores de los cuales depende la fuerza de resistencia que ofrece el aire durante la caída de un cuerpo.
- ✓ Diseñar dispositivos que permitan elevar el nivel de automatización del registro de posiciones y tiempos durante un movimiento, profundizando en las características de distintos tipos de sensores y en el funcionamiento, a este respecto, de un ordenador con los programas adecuados.

Conviene, por último, que los estudiantes recojan el trabajo realizado en una memoria de la investigación, planteada como práctica de un aspecto esencial de la actividad científica: la comunicación.

*Elaborad una memoria de la investigación realizada*

Es preciso dar a esta actividad el sentido de la auténtica comunicación científica, superando su connotación habitual de simple ejercicio escolar, destinado a ser calificado por el profesor. En este sentido, puede ser muy conveniente hacer jugar el papel de "referees" a cada grupo de estudiantes, dándoles a analizar un cierto número de memorias para que sugieran modificaciones a los autores, etc. La "publicación" de unas actas del trabajo realizado y la organización de sesiones de comunicación oral (con ayuda de transparencias, vídeos, simulaciones, etc.) y de sesiones "póster", contribuye a dar interés a este esfuerzo de comunicación, además de proporcionar una visión más correcta del trabajo científico, buena parte del cual está centrado en dicha comunicación.

### 4. EL DISEÑO DE PRODUCTOS TECNOCIENTÍFICOS SENCILLOS

Otro tipo de actividades experimentales, son las destinadas simplemente a la elaboración de productos "tecnocientíficos" sencillos pero que funcionen o a la explicación de

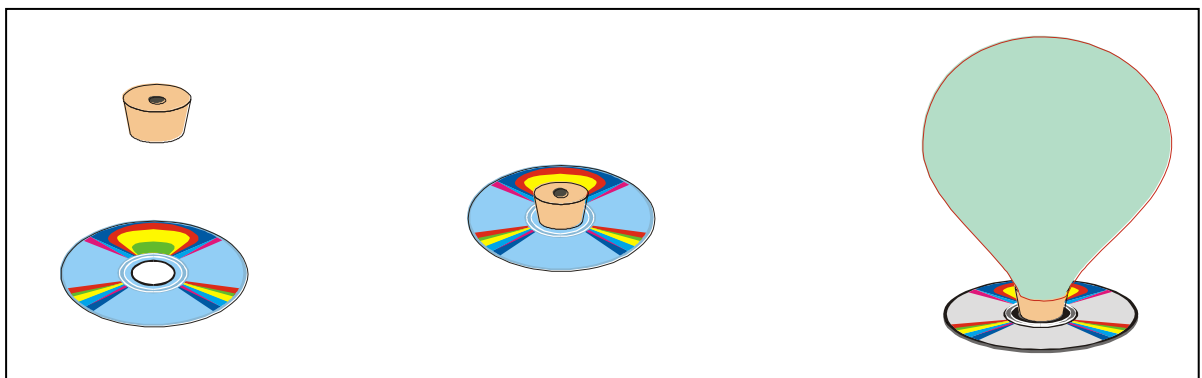
otros ya elaborados. Éstos diseños poseen un indudable poder motivador por su carácter de “reto” o “problema abierto” que puede ir más allá de lo puramente escolar.

Esencialmente se trata de pedir a los estudiantes que propongan distintos diseños para resolver algún problema planteado y lo lleven a cabo de forma que obtengan finalmente un producto que realmente funcione, explicando con algún detalle cómo funciona y, en su caso, las posibles relaciones CTSA vinculadas.

A modo de ejemplo, comentaremos a continuación uno de estos diseños, consistente en la construcción de un vehículo capaz de deslizarse sin apenas rozamiento. Para ello se puede comenzar recordando a los estudiantes la tendencia a construir vehículos cada vez más aerodinámicos y, en general a emplear sistemas para disminuir la fricción o rozamiento. De esta forma se han construido ya vehículos capaces de moverse en situaciones en las que hay poco rozamiento como el llamado “motor lineal” de algunos trenes en donde un intenso campo electromagnético mantiene el tren sin apenas rozar la vía y controla su movimiento a lo largo de ella. Otro sistema es el que utilizan los aerodeslizadores (hovercraft) los cuales expulsan aire a presión contra la superficie del agua, a la vez que avanzan.

*Proponed un sistema sencillo para construir un “vehículo” que sea capaz de moverse casi sin fricción por una superficie horizontal y lisa (por ejemplo una mesa o un pasillo encerrado) y llevadlo a cabo.*

Un posible diseño consiste en utilizar un disco compacto al que por la parte menos lisa le pegaremos un tapón de tamaño mediano, (preferiblemente de los de goma ya horadados que suele haber en los laboratorios), de forma que el agujero del tapón esté centrado con respecto al agujero del disco. La parte del disco más lisa (la cara en la que se ha grabado) es la que va a deslizarse sobre la mesa. Ahora necesitamos un chorro de aire capaz de crear una fina película de aire que separe la superficie del disco de la de la mesa. Ello puede conseguirse fácilmente sin más que acoplar un globo al tapón horadado.



Podemos ahora soplar e inflar el globo (utilizando un dedo para evitar que se salga el aire después de hinchado) y dejar el globo sobre una mesa o superficie pulida grande dándole un pequeño impulso hacia un lado. Veremos cómo el “vehículo” se desplaza sin apenas resistencia con un movimiento rectilíneo y uniforme (y sin ninguna fuerza horizontal que lo mantenga en movimiento).

Los estudiantes han de argumentar también sobre las implicaciones positivas que sobre el medio ambiente puede tener la utilización de vehículos capaces de desplazarse con el

### 3. Los trabajos prácticos

mínimo rozamiento posible y, particularmente, si son de transporte colectivo, dado el ahorro de combustible que, en principio, ello supone y la consiguiente disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes.

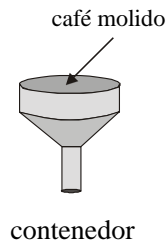
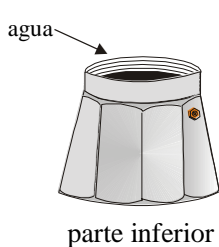
También es posible proceder al contrario y pedir a los estudiantes (en el momento apropiado) que expliquen el funcionamiento de algún producto tecnocientífico sencillo ya elaborado y de uso habitual, como puede ser una cafetera, una ventosa, una pajita para beber líquidos, un bebedero para pájaros enjaulados, un pulverizador manual, etc. A modo de ejemplo, comentaremos el primero de ellos.

*Conseguid una cafetera como la de la figura adjunta, desmontadla y tratad de explicar cómo funciona.*

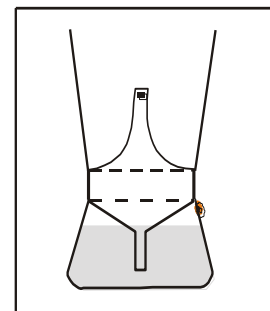


Si abrimos una cafetera como la de la figura anterior, veremos que consta de un recipiente inferior en el que se coloca agua (sin sobrepasar una válvula de seguridad). En dicho recipiente ajusta una especie de embudo o contenedor que, en su interior, tiene una base metálica llena de pequeños agujeros y sobre la que se dispone el café molido.

En cuanto a la parte superior (que se suele enroscar en la inferior), tiene una tapadera que se puede levantar, un asa de material refractario y del fondo sale una especie de tubo cónico con un agujero arriba. Además, la base que hace contacto con el café (cuando se rosca la parte superior con la inferior) está llena de pequeños agujeros que comunican con el tubo anterior. Una arandela de goma rodea esos pequeños agujeros para asegurar la estanqueidad.



Cuando la cafetera está al fuego, el aire contenido en la parte superior está a la presión atmosférica pero no ocurre lo mismo con el aire situado en la parte inferior que, al ir aumentando su temperatura aumentará también la presión que ejerce sobre las paredes de la cafetera y sobre el agua, con lo que el agua caliente se moverá debido a esa diferencia de presión y saldrá por el único sitio disponible, esto es, subirá por el tubo del contenedor y pasará por los agujeros atravesando el café (formando una disolución) y, ascendiendo por el cono hueco de la parte superior, saldrá finalmente por el agujero.





Terminamos aquí este tema dedicado a la reorientación de la actividad experimental, de acuerdo con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida. Una reorientación basada en el cuestionamiento de las concepciones empiro-inductivistas y demás distorsiones de la naturaleza de la actividad científica.

### Referencias bibliográficas

- AUSUBEL, D. P; NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas,
- BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*. 14, (3), pp.365-379.
- BUNGE, M. (1976). *La Investigación Científica*. Barcelona: Ariel.
- CARRASCOSA, J., GIL-PÉREZ, D., VILCHES, P y VALDÉS, P. (2006). Papel de la investigación experimental en la educación científica. *Revista de Ensino de Física*.
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (2013). *Física y Química de 1º de Bachillerato* Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007)..
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., APARICIO SANMARTÍN, J y DOMÍNGUEZ SALES, C. (2013). *Física y Química de 4º de ESO*. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., APARICIO SANMARTÍN, J., y DOMÍNGUEZ SALES, C. (2013). *Física y Química de 3º ESO*. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- FURIO C., PAYÁ, J y VALDÉS, P. (2005). ¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?. En *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Capítulo 4. pp. 81-102. Publicado por la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREAL/UNESCO. Santiago de Chile. Chile. <http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- FURIÓ, C., CALATAYUD, Mª L., BÁRCENAS, S. L. y PADILLA, O. M. (2000). Functional Fixedness and Functional Reduction as Common Sense Reasonings in Chemical Equilibrium and in Geometry and Polarity of Molecules, *Science Education*, 84, pp. 545-565.
- GIL- PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. 1(1), pp. 26-33.
- GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*. 14 (2), pp. 155-163,
- GIL-PÉREZ, D; CARRASCOSA, J; FURIÓ, C. y MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori (Barcelona).
- GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?. *Revue Française de Pédagogie*. 44, pp. 66-73.
- GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L. (2003). *Las prácticas de laboratorio de química en la enseñanza universitaria. Análisis crítico y propuesta de mejora basada en la enseñanza y aprendizaje por investigación orientada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València.
- GONZÁLEZ, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?, *Enseñanza de las Ciencias*. 10 (2), pp. 206-211.
- GONZÁLEZ, E. (1994). *Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- GRAU, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación?, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, pp. 27-35,
- GUISASOLA, J; BARRAGUÉS, J; VALDÉS, P; VALDÉS, R. y PEDROSO, F. (1999). La resolución de problemas en el laboratorio y la utilización del ordenador. *Revista Española de Física*. 13 (3), pp. 62-65.
- HODSON D, (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

- HODSON D, (1986). The nature of scientific observation. *The School Science Review*, 68 (242), 17-29.
- HODSON, D. (1992). Assessment of practical work: some considerations in philosophy of science. *Science Education*, 1(2), 115-144.
- HODSON, D. (1993). Re-thinking old ways: towards more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*. (22), pp. 85-142.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N., y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), pp.45-59.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Facer Escola. Biblioteca didáctica. Galicia: Edicións Xerais de Galicia.
- LAZAROWITZ, R. y TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. En: Gabel, D. (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: McMillan Pub Co.
- LILLO, J. (1994). Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. (2), pp. 47-56.
- LUNETTA, V. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. En: Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers, pp. 249-262.
- MAIZTEGUI, A; ACEVEDO, J. A; CAAMAÑO, A; CACHAPUZ, A; CAÑAL, P; CARVALHO, A.M.P; DEL CARMEN, L; DUMAS CARRÉ, A; GARRITZ, A; GIL-PÉREZ, D; GONZÁLEZ, E; GRAS-MARTÍ, A; GUIASOLA, J; LÓPEZ-CEREZO J. A; MACEDO, B; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J; MORENO, A; PRAIA, J; RUEDA, C; TRICÁRICO, H; VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, (28), pp. 129-155.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, pp. 33-62.
- NIEDA, J. (1994). Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (2), pp. 15-20.
- PAYÁ, J. (1991). *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- PICKERING, M y GOLSTEIN, S, L. (1977). The educational efficiency of laboratory reports. *Journal of Chemical Education*, 54 (5), pp. 315-317.
- REIGOSA, C.E., y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 275-284.
- SALINAS, J. (1994). Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- SALINAS, J. y COLOMBO DE CUDMANI, L. (1992). Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5 (2), pp. 10-17.
- TAMIR, P. y GARCÍA, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de ciencias utilizados en Cataluña, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), pp. 3-12.
- TARCISO BORGES, A. (2002). Novos Rumos para o laboratorio escolar de ciencias. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19 (3). (Reeditado en vol. 21. Edição Especial de Novembro 2004).
- VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp. 412-415.
- WATSON, J. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, pp. 57-65.

## ANEXO 1. TRABAJOS PRÁCTICOS HABITUALES

Este anexo está formado por los guiones de dos prácticas de laboratorio incluidas en dos libros de texto de física y química de nivel medio.

### A) Ley de Boyle

#### a) Observación

Si se encierra aire o cualquier otro gas en un recipiente dotado de un émbolo (fig. 3a) y se ejerce fuerza exteriormente contra él, se puede lograr que el gas, sometido a la presión del émbolo, disminuya mucho de volumen (figura 3b).

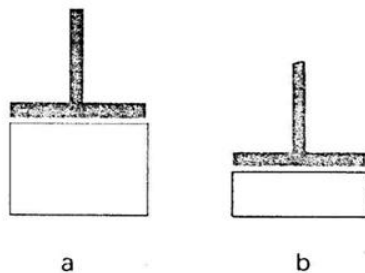


Fig. 3 Los gases disminuyen de volumen cuando crece la presión exterior sobre ellos.

Robert Boyle había observado esta propiedad de los gases, llamada compresibilidad, y se propuso investigar sobre ella.

La primera fase del proceso científico es la observación de los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza. Muchos de ellos ocurren con frecuencia a nuestro alrededor y los podemos observar fácilmente. Pero existen también fenómenos que sólo se han podido observar recientemente, después de siglos de progreso científico, ya que se requieren para ello instrumentos muy perfeccionados.

#### b) Experimentación

Para estudiar el fenómeno de la compresión de los gases, Boyle encerró aire en un tubo de vidrio, lo comprimió ejerciendo presión sobre él y midió su volumen para diferentes valores de la presión. Con ello su proceso de investigación se encontraba en su segunda fase: la fase experimental.

Los científicos llaman experimentar a reproducir en su laboratorio los fenómenos observados, repitiéndolos cuantas veces resulte necesario y procurando realizarlos en las condiciones más adecuadas para estudiar las distintas variables que intervienen en ellos. En nuestro ejemplo, éstas eran la presión y el volumen del aire encerrado en el tubo.

En esta fase del proceso, el científico realiza minuciosas observaciones, mide las variables que intervienen en el fenómeno y anota cuidadosamente todos los resultados obtenidos.

#### c) Inducción de leyes

Estudiando los datos aportados por sus experiencias, Boyle encontró **una regularidad**, es decir, algo que se repite regularmente en todas las observaciones realizadas. La búsqueda de regularidades en los fenómenos es uno de los principales objetivos de la fase experimental del proceso científico.

La regularidad encontrada por Boyle en el comportamiento de los gases puede expresarse diciendo: «Para una misma masa de gas a temperatura constante, el producto de la presión por el volumen permanece constante».

Este enunciado se conoce con el nombre de ley de Boyle.

**Una ley, es un enunciado breve, de carácter general, sobre las regularidades observadas experimentalmente en la naturaleza.**

Las leyes cuantitativas cabe expresarlas de tres formas:

- 1) Mediante un breve enunciado verbal, como el propuesto más arriba para la ley de Boyle.
- 2) Mediante una fórmula matemática, que en el caso de nuestro ejemplo sería:  

$$pV = \text{presión} \times \text{volumen} = \text{constante}$$
- 3) Mediante una gráfica. En el caso de la ley de Boyle, la gráfica es como la representada en la figura 4.

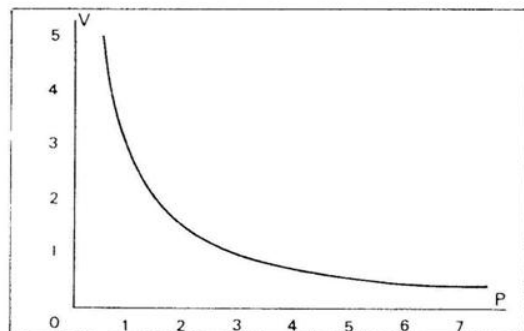


Fig. 4 Gráfica de la ley de Boyle correspondiente a una determinada masa de un gas cuya temperatura se ha mantenido constante durante la experiencia.

## B) Ley de Hooke

### Observación

Un resorte helicoidal (muelle) con un extremo fijo se alarga al ejercer una fuerza en el otro extremo. Si la fuerza aumenta, el alargamiento también, y si disminuye, también disminuye el alargamiento.

### Experimentación

Se suspenden del extremo libre del resorte que lleva un gancho con una base pesas iguales de una en una, se anota en cada caso la longitud del resorte y del gancho, como se indica en el grabado.

Los datos tomados en cada experiencia, se recogen en una tabla de valores.

En la siguiente tabla  $l_0$  es la longitud del resorte sin pesas;  $l$  es la longitud del resorte con pesas. El alargamiento, por tanto, es:

$$\Delta l = l - l_0$$

$l_0$ (cm)	$l$ (cm)	$\Delta l = l - l_0$	$F$ (gf o gp)
15	15	0	0
15	16,5	1,5	10
15	18,1	3,1	20
15	19,6	4,6	30
15	21,2	6,2	40
15	22,7	7,7	50

### Representación gráfica

Con los datos de la tabla se realiza una representación gráfica:

- fuerza en función del alargamiento, o
- alargamiento en función de la fuerza.

En la gráfica adjunta se ha representado la fuerza en función del alargamiento.

### Obtención de una fórmula

En este caso, no es difícil. La gráfica obtenida es prácticamente una recta que pasa por el origen de coordenadas, es decir, se trata de una función matemática sencilla: la **aplicación lineal**:

$$F = k \cdot \Delta l$$

La constante  $k$  se halla en la gráfica dividiendo la variación de la fuerza entre el alargamiento correspondiente. En el triángulo señalado:

$$k = \frac{BC}{AC} = \frac{(40 - 20) \text{ gf}}{(6,2 - 3) \text{ cm}} = 6,25 \frac{\text{gf}}{\text{cm}}$$

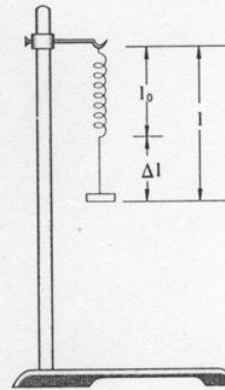


Fig. 1.1.

Los alargamientos del resorte son proporcionales a los pesos.

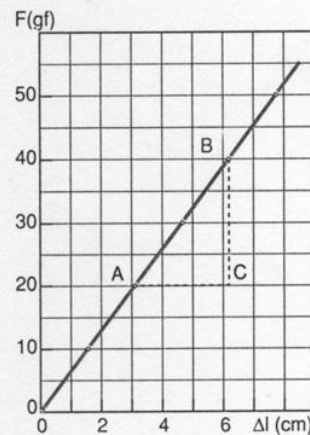


Fig. 1.2.

El gramo fuerza (gf) o gramo peso (gp) es una unidad práctica de fuerza que equivale al peso de un gramo.

### Valor de $k$ en el SI

$$P = mg$$

$$1 \text{ gf} = 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$k = \frac{6,25 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{10^{-2} \text{ m}} = 6,125 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

## ANEXO 2. TRABAJOS PRÁCTICOS COMO INVESTIGACIÓN

### A. EL CONCEPTO DE DENSIDAD

Este trabajo práctico, puede proponerse formando parte del tema sobre Propiedades generales de la materia, que se puede estudiar en el primer ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria. Los alumnos ya han estudiado algunas propiedades generales y comunes a toda la materia ordinaria como la masa, el peso y el volumen. Las tres propiedades anteriores se caracterizan además porque, en principio, pueden tomar cualquier valor sea cual sea la clase de material de que esté hecho el objeto considerado. Así si, por ejemplo, pensamos en una bola de madera, no hay ningún inconveniente para que la masa de ésta pueda ser de 1 g, de 20 kg o de 3 toneladas. El mismo razonamiento podríamos hacer con el volumen y con el peso. No obstante, no podemos olvidar que los distintos materiales nos son útiles debido a que tienen otras propiedades comunes que, a diferencia de las anteriores, toman valores distintos dependiendo de la clase de material. El estudio de este tipo de propiedades que toman valores **específicos** dependiendo de la naturaleza del material considerado es también muy importante ya que, por ejemplo, pueden servirnos para identificar o reconocer distintas sustancias diferenciando unas de otras.

#### A.1. PROPIEDADES DIFERENCIADORAS DE LOS DISTINTOS MATERIALES

*Citad materiales de uso habitual y las causas por las que son utilizados.*

Los alumnos, tras la discusión en grupo, suelen referirse, entre otros, a materiales como la goma, el diamante, el hierro, el aluminio, el amianto, el cobre, el vidrio, la cera, la madera, el plomo, la pólvora, la gasolina, el mercurio, etc., señalando que unos son elásticos, otros duros, ligeros, conductores de la corriente eléctrica, maleables, combustibles, pesados, funden más o menos fácilmente, etc.

El profesor puede insistir en la importancia de que las propiedades anteriores tomen valores muy distintos según el tipo de material de que se trate (conductores y aislantes, duros y blandos, ligeros y pesados, elásticos e inelásticos, etc.) y en la conveniencia de buscar un modelo de cómo está hecha la materia, que nos ayude a comprender todas estas diferencias y a su vez nos permita influir en ellas, fabricando por ejemplo, nuevos materiales que tengan determinadas propiedades que nos interesen (porexpan, plásticos, tejidos sintéticos, etc.). También nos podemos referir a la importancia que este tipo de propiedades tienen en el análisis de sustancias (control de calidad de los alimentos, medicinas, identificación de venenos, análisis clínicos, etc.).

Anteriormente se han enumerado propiedades que se caracterizan porque pueden tomar valores que pueden ser muy distintos según sea el material que se considere. Como es lógico no podemos realizar aquí un estudio en profundidad de cada una de ellas, de modo que nos limitaremos a considerar a título de ejemplo una de las más importantes, relacionada con la *existencia de materiales más o menos ligeros*. El concepto que se ha construido para describir dicha propiedad recibe el nombre de **densidad**. Se trata de un término bastante utilizado en el lenguaje corriente. A continuación trataremos de estudiarlo con más detalle.

## A.2. ELABORACIÓN DEL CONCEPTO DE DENSIDAD

*Anteriormente se han señalado materiales que se utilizan porque son "ligeros" y otros porque son "pesados". Tenemos un trozo de madera junto a otro trozo de hierro. ¿Cuál será más pesado de los dos?*

La pregunta anterior es absurda **a menos que** se haga la comparación con volúmenes iguales. Así un clavo de hierro pesa menos que una puerta de madera, pero un clavo de hierro pesará más que otro de igual volumen hecho de madera (y una puerta de hierro más que otra igual, pero de madera). Por tanto, siempre que consideremos dos volúmenes iguales de hierro y de madera, el primero pesará más, y, consecuentemente, tendrá más masa que el segundo. Análogamente, si lo que tenemos son dos masas iguales de hierro y de madera (por ejemplo 1 kg de hierro y 1 kg de madera), el volumen del trozo de hierro será menor que el volumen del trozo de madera. Decimos entonces que el hierro es más **denso** que la madera. En general, decimos que:

Un material es más denso que otro si, a igualdad de volumen, la masa del primero es mayor que la del segundo.

O lo que es equivalente:

Un material es más denso que otro si, a igualdad de masa, el volumen del primero es menor que el del segundo.

La densidad es una propiedad que depende, **a la vez**, de la masa y del volumen. Cuanto mayor sea la masa de un material por cada unidad de volumen (por ejemplo, cuantos más gramos por cada  $\text{cm}^3$ ), más denso será. El plomo es más denso que el corcho porque  $1 \text{ cm}^3$  de plomo posee más masa que  $1 \text{ cm}^3$  de corcho. Un material muy ligero o poco denso es aquel que, teniendo muy poca masa, ocupa mucho espacio (tiene mucho volumen). El "corcho blanco" o "porexpan", por ejemplo, es un material de muy baja densidad (utilizado habitualmente para proteger mercancías delicadas). En cambio, el mercurio, el plomo o el oro, son mucho más densos, ya que en poco volumen hay concentrada mucha masa. Una masa de 1 kg de corcho blanco ocupa mucho más espacio (tiene mucho más volumen) que 1 kg de mercurio o de oro.

En los materiales muy **densos** la masa está muy concentrada (ocupa poco volumen) mientras que en los materiales poco densos, la masa está poco concentrada (ocupa mucho volumen).

*Suponed que tenéis dos objetos A y B, de tamaños distintos y hechos con materiales diferentes. ¿Cómo podríamos determinar cuál de los dos materiales es más ligero?*

Una primera propuesta suele consistir en reducir ambos objetos al mismo tamaño y luego ver cual de los dos pesa menos. El profesor ha de insistir en este caso para que se encuentre otra solución que no suponga romper ninguno de los dos objetos y que sin embargo permita hacer la comparación. De esta forma los alumnos pueden llegar a una propuesta más elaborada consistente en dividir la masa de cada uno de los objetos por su volumen para saber de este modo la masa de una misma unidad de volumen en ambos casos. El menor de los valores calculados de este modo, correspondería al material más ligero.

De acuerdo con lo anterior, podemos definir la **densidad** como una propiedad de la materia que toma un valor característico para cada sustancia o material determinado de tal forma que dicho valor coincide numéricamente con el de la masa correspondiente a una unidad de volumen.

Para calcular la densidad de un material o una sustancia dada, basta con tomar un trozo cualquiera y dividir su masa entre su volumen. Un valor alto de la densidad quiere decir que la masa está muy concentrada, que hay mucha masa en poco volumen (material pesado o muy denso), y viceversa.

La densidad se representa por la letra griega  $\rho$  (léase “ro”). Su unidad internacional es el  $\text{kg/m}^3$ , aunque son habituales otras unidades como  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{g/l}$ .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Otra forma alternativa (más guiada) de introducir el concepto de densidad, se describe en las tres actividades siguientes, que puede utilizarse en lugar de las anteriores.

*Tratad de clasificar los objetos suministrados por el profesor, ordenándolos según el material de que estén hechos sea más o menos ligero (desde el más ligero hasta el más pesado), explicando en cada caso el criterio seguido.*

En este caso se trata de proporcionar a los alumnos dos series de objetos (que pueden estar envueltos en papel de plata para que no se puedan identificar). En la primera todos ellos tienen el mismo tamaño pero diferente naturaleza (por ejemplo, aluminio, hierro y plomo). Para la segunda serie se utilizan los mismos materiales (también envueltos en papel de plata), pero esta vez de forma que todos los objetos tienen prácticamente la misma masa. Los alumnos ordenan la primera serie atendiendo al peso de cada objeto (de menor a mayor), mientras que en la segunda lo hacen atendiendo al volumen (de mayor a menor). Todo ello sin necesidad de utilizar, de momento, ningún aparato de medida. Al quitar la envoltura se puede ver de qué materiales se trata y cómo la primera ordenación coincide con la segunda, si el proceso ha sido bien realizado. De esta forma es fácil darse cuenta del tipo de influencia de las dos magnitudes que permiten establecer la ordenación.

*Mediante la actividad anterior hemos podido constatar la influencia que tienen dos magnitudes importantes (la masa y el volumen) en el hecho de que un material sea más o menos ligero. Tratad ahora de profundizar en torno a esta cuestión precisando la forma en que influye cada una de dichas magnitudes.*

Se trata de que los alumnos procedan a una separación de variables, estableciendo que un material será tanto más pesado cuanto mayor sea su masa (para un mismo volumen), o bien cuanto menor sea el volumen (para una misma masa). O lo que es equivalente: que cuanto mayor sea la masa y menor el volumen que ocupa, más pesado será un material dado.

*Inventad una magnitud que cumpla con los requisitos anteriores y nos sirva para diferenciar los distintos materiales según estos sean más o menos pesados, precisando la forma de calcular su valor.*

Llegados a este punto, los alumnos han de ser capaces de proponer el tomar un trozo de un material dado, hallar su masa y su volumen y a continuación dividir el valor de la primera por el del segundo. Es el momento de que el profesor introduzca entonces la definición operativa de la **densidad** como  $\rho = m/V$ , sustituyendo las expresiones iniciales de materiales pesados o ligeros por materiales más o menos densos respectivamente.

*Un alumno ha escrito como fórmula para hallar el valor de la densidad:  $\rho = V/m$ . Explicad por qué esa expresión resulta incoherente con el concepto de densidad tal y como éste ha sido definido.*

Es el momento también de profundizar en su significado físico, señalando las unidades en las que se suele expresar, su dependencia con la temperatura (solo de forma cualitativa) y realizando unas primeras actividades en las que se planteen cuestiones de interés que requieran de su manejo.

*¿Qué quiere decir que la densidad del oro, a 20 °C es de 19'3 g/cm<sup>3</sup>? ¿Por qué se especifica la temperatura a la que se mide la densidad? ¿Qué volumen tendrá 1 kg de oro? (dad el resultado en litros).*

*Calculad la masa en kilogramos de 1 l de mercurio y comparadla con la masa en kg de 1 l de agua a 4° C. (Buscad antes los datos necesarios).*

*Experimentalmente se comprueba que, para que un sólido macizo flote sobre un líquido, el primero ha de ser menos denso que el segundo. Lo mismo ocurre con líquidos no miscibles (por ejemplo aceite sobre agua) y con los gases. Teniendo esto en cuenta, tratad de contestar las siguientes cuestiones:*

- a) *¿Qué importancia tiene para la naturaleza que el hielo sea menos denso que el agua?*
- b) *¿Por qué en el mar se flota mejor que en el agua dulce?*
- c) *¿Qué hay que hacer para que un globo aerostático lleno de aire se eleve en el aire?*

*Un material A tiene una densidad de 5'2 g/cm<sup>3</sup>, otro B de 586 g/l y otro C de 2700 kg/m<sup>3</sup>. Ordenadlos de menor a mayor densidad.*

#### **A.3. ¿DEPENDE LA DENSIDAD DE LA CANTIDAD DE MATERIAL?**

Unos estudiantes afirman que la densidad de un material determinado depende de la cantidad de ese material que se tome para hallar su valor. Otros, por el contrario dicen que la densidad es una propiedad que toma un valor determinado para cada material dado, independientemente de lo grande o pequeño que sea el trozo escogido para calcularla..

*Formulad vuestras propias hipótesis sobre el párrafo anterior y diseñad -y llevad a cabo- alguna experiencia para comprobarlas.*

Cabe esperar que, entre las hipótesis, haya surgido la idea de que el tamaño del trozo de material considerado no tendría ninguna influencia en el valor de la densidad, ya que todo cambio de volumen se vería compensado por un cambio en la misma proporción en la masa. Por ejemplo: si cojo un trozo mayor, también su masa será mayor, de modo que el cociente  $m/V$  dará siempre lo mismo.



Para comprobar la hipótesis anterior basta con utilizar trozos de tamaño diverso de un mismo material e ir determinando en cada caso la masa y el volumen, recogiendo los datos en una tabla. Resulta sencillo hacerlo, por ejemplo, con alcohol o con aceite de oliva, teniendo la precaución, en su caso, de usar siempre cantidades **mínimas** y de guardar los restos para su reutilización (no eliminar nunca el aceite lanzándolo por el desagüe de la pila porque contamina mucho el agua). También es posible proporcionar una tabla de datos ya hecha:

*Unos alumnos han procedido a medir la masa y el volumen de distintas muestras de un mismo aceite de oliva. Los resultados se exponen en la tabla siguiente:*

Muestra	A	B	C	D	E
masa (g)	4'6	9'2	11'5	15'0	18'4
volumen (cm <sup>3</sup> )	5'0	10'0	12'5	16'3	20'0

*Analizad los resultados de la tabla anterior.*

Si la densidad es independiente de lo grande o pequeña que sea la muestra considerada, veremos que, al dividir cada masa por su volumen correspondiente en la tabla anterior, salen resultados muy parecidos (recordad que toda medida viene afectada de una cierta imprecisión inevitable).

Mejor todavía sería (si es posible) representar gráficamente los valores de **m** frente a los valores de **V** y comprobar que sale una línea recta, con lo que se concluye que, efectivamente, ambas magnitudes (**m** y **V**) son directamente proporcionales. La constante de proporcionalidad es precisamente la densidad  **$\rho$**  del aceite de oliva y su valor se puede obtener de la gráfica fácilmente, para luego compararlo con el que figura en la tabla de densidades.

*Ya hemos comentado la utilidad de ciertas propiedades como la densidad en la identificación de distintos materiales. Utilizad lo aprendido hasta aquí para identificar los materiales que podáis, de entre los que suministre el profesor.*

Para esta actividad se puede utilizar, por ejemplo: acero, aluminio, plomo, cinc, vidrio, aceite, agua, porexpan, etanol, etc., junto con una tabla de densidades adecuada. La actividad puede aprovecharse también para mostrar de forma experimental que las sustancias menos densas que el agua (e inmiscibles en ella), flotan (y al contrario), lo que permite comprender mejor muchos fenómenos cotidianos importantes como, por ejemplo, que los globos llenos de ciertos gases se elevan, o por qué el aire caliente (menos denso), sube mientras que el frío (más denso) desciende (brisas costeras). En los casos de sustancias en estado sólido, conviene utilizar objetos regulares, para facilitar una medida del volumen más precisa de la que se obtendría por inmersión del objeto en una probeta.

La actividad anterior, contribuye a familiarizar a los alumnos con el carácter social y colectivo de la investigación científica además de motivarles positivamente cuando comprueben la efectividad de su propio trabajo, al comparar los resultados obtenidos por ellos con los que figuran en las tablas.

*Sin utilizar la balanza, determinad la masa del objeto que suministre el profesor.*

El profesor puede suministrar un trozo de un material cuya densidad sea conocida. Los alumnos proceden a hallar su volumen aproximado, introduciéndolo en una probeta (o por consideraciones geométricas si es regular) y a multiplicar el valor obtenido por el de la densidad correspondiente. La actividad puede completarse comprobando experimentalmente el resultado mediante una balanza. Va muy bien la utilización de los cilindros de aluminio que suele haber en la dotación de muchos laboratorios escolares.

#### A.4. ALUMINIO: UN METAL DE BAJA DENSIDAD Y GRAN IMPORTANCIA

El aluminio es un metal de color grisáceo y que tiene una gran cantidad de usos. Se trata del metal más abundante en la corteza terrestre. Debido a que se combina bastante fácilmente con el oxígeno no se encuentra libre en la naturaleza, sino formando compuestos con el oxígeno. Así, el mineral denominado Bauxita tiene un elevado contenido de óxido de aluminio. Los primeros objetos de aluminio comenzaron a fabricarse en 1845. Tiene una serie de propiedades que lo hacen especialmente interesante, entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- ✓ No es tóxico ni él ni muchas de sus combinaciones
- ✓ Es resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos
- ✓ Es blando y muy maleable (se puede laminar en hojas muy finas)
- ✓ Se oxida fácilmente, pero tiene la particularidad de que lo hace con una fina capa superficial de óxido, que actúa impidiendo que la oxidación prosiga en su interior, con lo que, en la práctica, es más resistente a la corrosión que el hierro
- ✓ Es muy ligero. Su densidad es  $2,7 \text{ g/cm}^3$  (casi tres veces menor que la del hierro)

*Teniendo en cuenta las propiedades anteriores, haced una reflexión sobre los distintos usos que puede tener el aluminio.*

Podemos referirnos en primer lugar a que, debido a su no toxicidad, resistencia a muchos ácidos y diversos líquidos orgánicos, y capacidad para formar con él láminas muy finas (papel de aluminio), es un material ideal en la industria alimentaria, donde se usa ampliamente para envolver alimentos. También para fabricar envases que contengan líquidos destinados al consumo humano (cerveza, refrescos, etc.).

Por otra parte, debido a su **baja densidad** y a su notable resistencia a la corrosión, tanto el aluminio como algunas de sus aleaciones están siendo extraordinariamente utilizados en la industria de la construcción (por ejemplo, marcos de ventanas de aluminio) y en la fabricación de muchos vehículos en los que la ligereza es una cualidad deseable, como, aviones, bicicletas, etc. En la actualidad se están fabricando ya automóviles con carrocerías en las que una gran parte es de aluminio. Esto puede tener una gran importancia ya que, al reducir el peso del vehículo, el consumo de combustible es menor, lo que puede contribuir a disminuir la contaminación atmosférica y ahorrar energía.

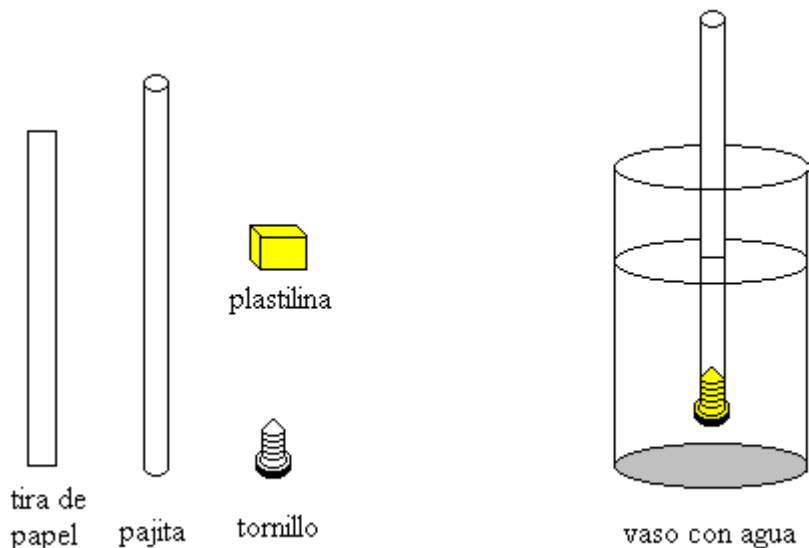
Frente a todas sus ventajas también tiene graves inconvenientes: Se necesita mucha energía para obtenerlo; cada vez es más frecuente encontrar latas de aluminio vacías en cualquier parte, ya que éstas han sustituido ampliamente a los envases de vidrio retornables; y lo mismo pasa con el papel de aluminio para envolver; etc. Es necesario que **todos** nos impliquemos en evitar hechos como estos y depositemos las latas de aluminio y en general todos los residuos que generamos en los contenedores apropiados para el posterior **reciclaje** de los mismos.

### A.5. UN SENCILLO INSTRUMENTO PARA MEDIR LA DENSIDAD

Se puede finalizar, proponiendo a los alumnos la construcción de un instrumento sencillo que funcione, con el que poder medir la mayor o menor densidad de un líquido.

*Diseñad y construid un instrumento sencillo que nos sirva para determinar si un líquido determinado es más o menos denso que el agua.*

Un posible diseño, muy sencillo, consiste en utilizar una pajita, una pequeña tira de papel, un tornillo y un poco de plastilina o pegamento. Con todo ello se puede construir un pequeño flotador como el que se indica en la figura adjunta:



La marca hecha en la tira de papel al mismo nivel que el agua, servirá después como indicador de mayor o menor densidad cuando se introduzca en otro líquido según dicha marca quede respectivamente por encima o por debajo del nivel del líquido, con lo que los alumnos habrán construido un densímetro elemental.

### A.6. ACTIVIDADES DE ACABADO Y NUEVAS PERSPECTIVAS

*Elaborad una memoria de todo el trabajo realizado explicando desde qué problemas nos hemos planteado, cuál es su interés, qué hipótesis se han emitido y qué diseños experimentales se han propuesto para contrastarlas, precauciones tomadas ..., hasta la interpretación de los resultados obtenidos, su campo de validez, etc, y qué nuevos problemas podríamos plantearnos a partir de aquí.*

La actividad es una síntesis de lo que se ha realizado en donde se pide a los alumnos que revisen una serie de aspectos relacionados con algunas de las características esenciales del trabajo científico. Como nuevos problemas a plantearse (que los alumnos pueden abordar en cursos posteriores) podemos citar un estudio más detallado respecto a la flotabilidad (principio de Arquímedes), la determinación de otras propiedades características que puedan utilizarse para identificar distintas sustancias, la explicación de por qué existen unos materiales más densos que otros (que habrá que relacionar, una vez que se introduzca el modelo corpuscular como estructura común de todas las cosas, con

### 3. Los trabajos prácticos

---

la forma en como se distribuyen las partículas y la diferente masa de las mismas), la densidad de los gases, etc.

Las siguientes son ejemplos de algunas de las actividades complementarias que se podrían abordar en relación con este trabajo práctico. Por razones obvias de espacio, no podemos incluir los comentarios correspondientes a cada una de ellas.

*En algunas montañas rocosas es usual que llueva frecuentemente y que por la noche la temperatura disminuya hasta alcanzar valores por debajo de cero grados. Explicad qué puede tener esto que ver con el hecho de que en las laderas de dichas montañas exista una gran cantidad de trozos de roca sueltos (canchales o pedreras).*

*El oro es una sustancia de diferente densidad que el plomo. Dibujar cualitativamente las gráficas que representan la relación entre la masa y el volumen para ambos materiales (sólidos). Una vez realizado el apartado anterior. Los valores medidos de masa y volumen para cada una de las sustancias indicadas son los siguientes: (El profesor proporcionará dos tablas de valores, una vez que los alumnos hayan resuelto el apartado anterior). Representad las gráficas reales, explicándolas con detalle, y comparadlas con las que se habían hecho en primer lugar, comentando posibles errores. Finalmente calculad la masa en kg de un  $\text{dm}^3$  de oro y de otro  $\text{dm}^3$  de plomo.*

*¿Qué queremos decir al afirmar que el plomo es más denso que el aluminio?, ¿y que el mercurio es aproximadamente 13'5 veces más denso que el agua?.*

*Explicad lo más detalladamente posible por qué muchos de los elementos de las bicicletas actuales y los aviones, se fabrican de aluminio en lugar de hierro.*

*Cuando una persona se baña en una piscina, si expulsa mucho aire de los pulmones se hunde, mientras que si los mantiene hinchados flota. Explicad este hecho.*

*Para que un fluido flote sobre otro es necesario que el primero sea menos denso, pero algunos globos aerostáticos utilizan aire y se elevan en el aire. ¿Cómo es posible?.*

*Haced una estimación de cuantos kilogramos de aire pensáis que hay en la clase y, a continuación, proceded a realizar un cálculo aproximado buscando en la bibliografía los datos necesarios.*

*Alguna vez habréis visto cómo a un niño se le escapa un globo lleno de gas y se eleva por el aire hasta perderse de vista. ¿Subirá indefinidamente?*

*Una persona afirma que un litro de cualquier líquido ha de pesar un kilogramo. Explicad **todo** lo que haya de incorrecto en dicha afirmación. A continuación calculad (buscando los datos necesarios) la masa de 5 l de alcohol, 5 l de agua y 5 l de mercurio.*

*En muchos textos se define la densidad como la masa por unidad de volumen. Haz una valoración crítica de esta definición desde el punto de vista didáctico.*

## B. ¿CUÁL ES EL PERIODO DE UN OSCILADOR?

Comenzaremos en primer lugar por analizar qué interés puede tener este problema.

*¿Cuál puede ser el interés de un problema como el que aquí se plantea?*

El estudio de los movimientos vibratorios u oscilatorios es particularmente interesante, ya que permite describir las vibraciones de los materiales llamados elásticos y tiene numerosas aplicaciones que van, desde la investigación acerca de los enlaces que mantienen unidos a los átomos y moléculas, a la construcción de puentes y grandes edificios o a la determinación de la intensidad del campo gravitatorio en un lugar determinado. Además, muchas de las magnitudes y ecuaciones que se utilizan para estudiar el movimiento de cuerpos u objetos que vibran sirven también para describir la propagación de ondas, tanto mecánicas como electromagnéticas.

### B.1. PLANTEAMIENTO PRECISO DEL PROBLEMA

Comenzaremos planteándonos qué se entiende por un oscilador y seguiremos nuestro estudio investigando de qué factores depende el período de un oscilador muy sencillo.

Sabemos que una de las características fundamentales de un cuerpo que oscila es su período, o tiempo que tarda en realizar una oscilación completa. El problema consiste en averiguar **de qué factores depende y cómo depende, el período de un oscilador**. Naturalmente, dicho período será distinto según el tipo de oscilador de que se trate. No será igual el caso de átomos o moléculas que vibran en torno a sus posiciones de equilibrio que el de una barra que oscila sujeta por uno de sus extremos, etc. Para poder comenzar necesitamos, pues, simplificar el problema, de manera que sea fácilmente abordable mediante experiencias sencillas realizables en el laboratorio.

*Describid con la mayor precisión posible el tipo de oscilador más simple que se conciba, para facilitar así un primer estudio como el que aquí se pretende.*

Podemos pensar en la construcción de un péndulo formado por un pequeño objeto pesado (una bola de acero) suspendido de un hilo que prácticamente no se alargue. Es fácil así aproximarse a la idea de péndulo simple (masa puntual que cuelga de un hilo sin torsión, inextensible y sin masa sujeto al techo por un único punto y sin que haya ninguna fricción). Un péndulo de esas características oscilaría siempre en un mismo plano. El problema queda así precisado a determinar **de qué factores depende y en qué forma, el período de un péndulo simple**.

### B.2. EMISIÓN DE HIPÓTESIS

*Señalad, a título de hipótesis, de qué factores cabe suponer que dependa el período de un péndulo simple que oscila libremente en un mismo plano y cómo cabe esperar que influya cada uno de ellos.*

Los factores en que se piensa habitualmente son la longitud del péndulo  $L$ , peso de la bola ( $mg$ ) y amplitud de las oscilaciones (que puede medirse con el ángulo  $\theta$  que forma el hilo con la vertical). Es posible establecer así como hipótesis que:  $T = f(L, m, g, \theta)$ .

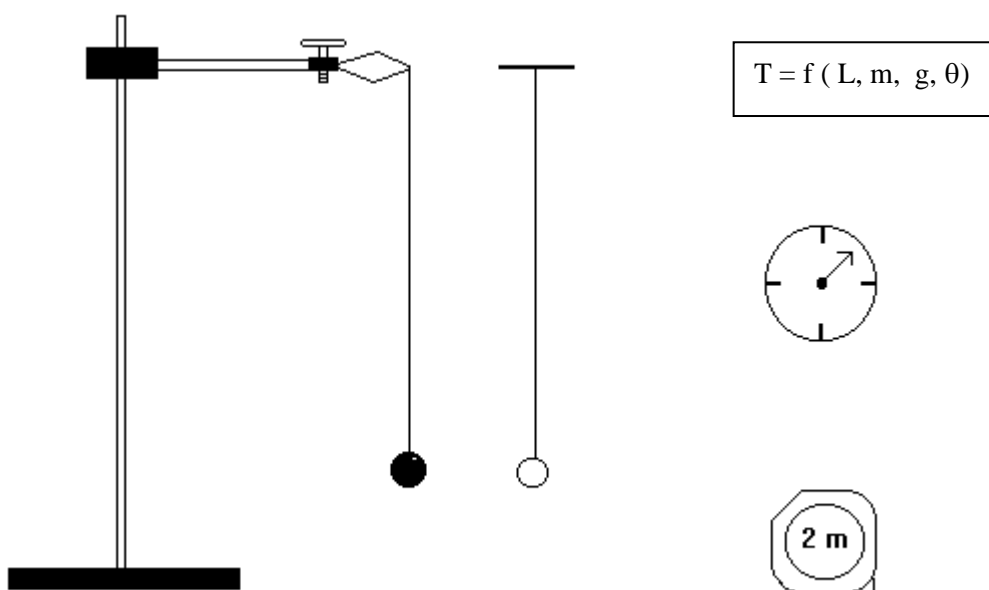
### 3. Los trabajos prácticos

En cuanto a cómo influyen dichos factores en el valor del periodo, la mayoría de las personas a las que se hiciera esta pregunta estarían de acuerdo en que cuanto más largo fuese el hilo (a igualdad de los otros factores) mayor sería el periodo de oscilación. Sin embargo no existe el mismo consenso cuando se piensa en cómo influyen el resto de factores. Conviene pues proceder a diseñar las experiencias necesarias.

#### B.3. ELABORACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES

*Diseñad detalladamente los experimentos necesarios para contrastar cada una de las hipótesis anteriores.*

La idea general es sencilla: se trata esencialmente de montar un péndulo aproximadamente simple e ir variando cada uno de los factores, manteniendo constantes los demás (separación de variables). Para ello tan solo se precisan bolas de diferente masa, hilo, soportes, cintas métricas y cronómetros.



Existen también algunos detalles de tipo técnico que conviene abordar antes de comenzar la propia realización de los experimentos:

*Señalad qué ha de entenderse por longitud del péndulo y cómo determinar de una forma suficientemente precisa el valor del período.*

La longitud del péndulo habría de medirse desde el punto de suspensión hasta el centro de la bola. Por tanto, puede determinarse fácilmente sumando a la longitud del hilo el radio de la bola. Respecto a la medida del período, es evidente que aunque se disponga de buenos cronómetros la determinación del tiempo que tardaría la bolita en realizar una sola oscilación sería bastante imprecisa, ya que se trata normalmente de un intervalo de tiempo muy pequeño. Una posibilidad para solucionar este problema sería medir el tiempo  $t$  que tarda el péndulo en realizar  $N$  oscilaciones completas (por ejemplo 20) y dividir dicho tiempo por el número de oscilaciones realizadas, con lo que obtendríamos:  $T = t/N$ . Sin embargo ello supone admitir implícitamente que el valor del ángulo de oscilación  $\theta$ , no influye en el período. En efecto, si se miden por ejemplo 20 oscilaciones,

es evidente que el ángulo de oscilación va a ser mayor durante las primeras 5 oscilaciones que durante las 5 últimas por lo que, si el valor de  $T$  dependiese de  $\theta$ , no podría calcularse por medio de  $T = t/N$ , puesto que no habría regularidad y lo que hallaríamos con la expresión anterior sería simplemente un valor medio. Es pues necesario, antes de nada, averiguar si el período  $T$  depende o no del ángulo de oscilación.

*Sugerid algún procedimiento sencillo para comprobar si el período  $T$  de un péndulo simple depende o no del ángulo de oscilación.*

Un procedimiento cómodo de hacerlo es medir el tiempo que tarda el péndulo en realizar 5 oscilaciones, ya que durante las mismas el ángulo apenas habría variado. Después no es necesario parar el péndulo, basta dejarlo oscilando y cuando el ángulo sea sensiblemente menor se repite la medida con otras 5 oscilaciones. Si el resultado fuese el mismo, querría decir que el ángulo no influye en el valor de  $T$ .

#### **B.4. REALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS**

*Proceded a la realización de las experiencias y a la elaboración de tablas de resultados, analizando en qué medida confirman o no las hipótesis de partida.*

Al realizar los experimentos suelen plantearse algunos problemas sobre los que conviene estar al tanto. Es preciso, por ejemplo, no comenzar a contar el tiempo nada más soltar la bola y esperar a que el péndulo se estabilice.

Experimentalmente se comprueba en primer lugar la no influencia de  $\theta$  en el valor de  $T$ , falsando así una de las hipótesis enunciadas. Quizás el primero en darse cuenta de este hecho fue Galileo en la segunda mitad del siglo XVI. Se dice que un día en la catedral de Pisa, se quedó distraído observando una lámpara colgante que había sido puesta en movimiento. Las sucesivas oscilaciones iban siendo cada vez más cortas conforme la lámpara iba llegando lentamente al reposo. ¿Es que el tiempo de oscilación va siendo cada vez más corto? se preguntó Galileo. Como no tenía reloj (no había sido inventado todavía), decidió medir el tiempo de las sucesivas oscilaciones mediante su propio pulso. Probablemente con gran sorpresa descubrió que, aunque las oscilaciones eran cada vez más cortas, la duración de cada una parecía ser siempre la misma. Al volver a su casa repitió el experimento con una pesa atada a un hilo y encontró el mismo resultado. Galileo invirtió el procedimiento de su descubrimiento y sugirió utilizar un péndulo de una longitud dada para medir el pulso de los pacientes. Este aparato conocido como el "pulsómetro", se hizo muy popular en la medicina. En el mismo efecto se basó el llamado "reloj de péndulo" que fue realmente el primer reloj de precisión de la historia.

Actualmente se sabe que esto no es exactamente así ya que, cuando se hacen medidas muy precisas, se ve que el ángulo de oscilación sí que influye ligeramente en el valor del periodo. No obstante esa influencia se hace prácticamente nula cuando se manejan ángulos pequeños. Por tanto, en lo que sigue haremos las medidas de  $T$  con ángulos pequeños (inferiores a unos  $20^\circ$ ). Tomaremos para ello valores de  $t$  correspondientes a 20 oscilaciones. Conviene repetir cada medida tres veces y hallar el valor medio  $t_m$  para finalmente obtener  $T$  mediante  $t_m/20$ .

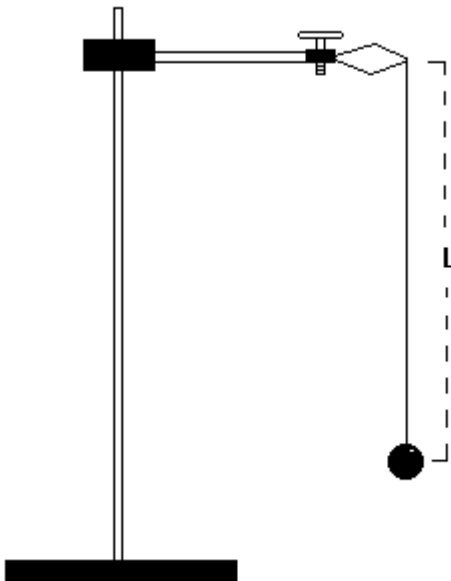
La utilización de bolas iguales pero de distinto material, permite comprobar experimentalmente la no influencia de la masa en el valor del periodo, al igual que tampoco influ-

### 3. Los trabajos prácticos

ye (como ya sabemos) en la aceleración con que caen los cuerpos en condiciones de rozamiento despreciable.

Investigar acerca de la influencia de  $g$  (intensidad del campo gravitatorio) precisaría colocar péndulos iguales en lugares con distinto valor de  $g$ . Dado que esto no es fácil, descartaremos dicha investigación.

En cuanto a la longitud, es suficiente con realizar unas cinco medidas. Longitudes comprendidas entre unos 40 cm y 1'5 m aproximadamente, suelen funcionar bien. Los datos se pueden recoger en una tabla donde se expresen los resultados (en unidades internacionales) de  $L$ ,  $t$  y  $T$ . La simple observación de los mismos muestra como el período sí que depende de la longitud, de forma que, tal y como se había supuesto, al aumentar  $L$  el valor de  $T$  aumenta también. Sin embargo, la simple observación de los datos no dice nada acerca del tipo de relación existente entre  $L$  y  $T$ . Encontrar esta relación sería algo importante, ya que por ejemplo, nos permitiría calcular teóricamente el valor del período de un péndulo simple sin necesidad de realizar ningún experimento.



$L$ [m]	$t$ [s]	$T$ [s]	$T^2$ [s <sup>2</sup> ]
$L_1$	$\left. \begin{matrix} t_a \\ t_b \\ t_c \end{matrix} \right\} t_1$	$T_1$	$T_1^2$
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
$L_n$	$t_n$	$T_n$	$T_n^2$

¿Qué deberíamos hacer con los datos obtenidos para descubrir el tipo de relación matemática que liga el período de un péndulo simple con su longitud?.

#### B.5. ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y NUEVOS PROBLEMAS

Se puede representar gráficamente  $T$  frente a  $L$  y analizar el tipo de línea que salga. Al hacerlo se observa que se obtiene lo que parece ser una parábola invertida, por lo que no resulta difícil establecer como posible ecuación de dicha curva:  $L = k \cdot T^2$

Dicha relación queda confirmada al representar gráficamente los valores de  $L$  frente a los de  $T^2$  y comprobar que, efectivamente, se ajustan bastante bien a una línea recta, con lo que la ecuación anterior se confirma, pudiéndose expresar también en su forma más conocida:  $T = C \cdot \sqrt{L}$ , en donde  $C = \sqrt{1/k}$ .



Mediante la actividad anterior hemos determinado, pues, el tipo de relación que liga el período de un péndulo simple con su longitud. No obstante, es posible profundizar un poco más, encontrando el valor de la constante  $C$ , que aparece en la última expresión.

*Determinad el valor numérico de la constante  $C$  que aparece en la expresión obtenida.*

Se trata de calcular el valor de la pendiente  $k$  de la recta obtenida al representar los valores experimentales de  $L$  frente a los de  $T^2$  y luego obtener  $C$  mediante  $C = \sqrt{1/k}$

En unidades internacionales el valor obtenido para  $C$  en experiencias realizadas al nivel del mar ha de ser muy próximo a  $2$  con lo que  $T = 2 \sqrt{L}$ . (Recordemos que la influencia de la gravedad no se ha tenido en cuenta por realizarse el experimento siempre en un mismo lugar, por lo que dicho factor se encontrará dentro de la constante).

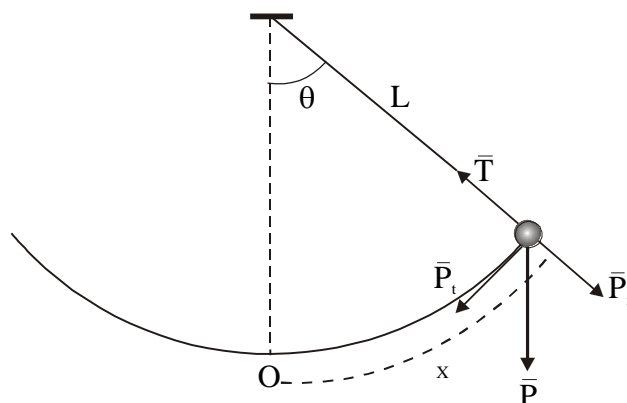
*Elaborad un informe que recoja el trabajo realizado en esta investigación y en donde se destaquen cada una de sus fases: Planteamiento del problema, análisis del problema, emisión de hipótesis, diseño de experimentos, recogida de datos, análisis de resultados.*

*Calculad a partir de la expresión obtenida (o en su defecto, de la gráfica), el valor que tendría el período de un péndulo simple de  $0'25$  m de longitud. Después proceder a construir dicho péndulo y a obtener experimentalmente el valor del período, comparando ambos resultados.*

### B.5.1. Obtención teórica del periodo de un péndulo simple

El movimiento de un péndulo simple que realiza oscilaciones de poca amplitud nos recuerda bastante al movimiento armónico simple (MAS). ¿Será también un MAS?

La figura adjunta representa un péndulo simple en un instante dado. La elongación  $x$  en valor absoluto coincide con la longitud del arco desde  $O$ . Trataremos de averiguar si la aceleración tangencial de la bola es directamente proporcional a la elongación  $x$  (lo que caracteriza a todo MAS).



*A partir de la figura anterior y tomando como sentido positivo hacia la derecha de  $O$  sobre el papel, determinad la componente escalar tangencial de la fuerza resultante que actúa sobre la bola y a continuación su aceleración tangencial.*

### 3. Los trabajos prácticos

---

La fuerza resultante que actúa sobre la bola será la suma del peso y la tensión:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}.$$

Si trabajamos en componentes intrínsecas podemos escribir que:

$$\vec{P} = (-mg \sin \theta, -mg \cos \theta) \quad \text{y} \quad \vec{T} = (0, T),$$

con lo que  $\vec{F} = (-mg \sin \theta, T - mg \cos \theta)$ .

Así pues  $F_t = -mg \sin \theta$

Si el ángulo  $\theta$  es pequeño  $L \sin \theta$  es muy aproximadamente igual a la longitud del arco "x" y esta coincidencia, como puede verse en la figura anterior, será tanto más grande cuanto menor sea el ángulo  $\theta$ . (Matemáticamente podríamos decir que conforme el ángulo de oscilación va disminuyendo, la longitud de la cuerda se va haciendo más igual a la longitud del arco). Así pues, para ángulos pequeños, podemos admitir que  $x = L \sin \theta$  o lo que es equivalente:  $\sin \theta = x/L$  de modo que sustituyendo en  $F_t$  obtenemos:  $F_t = -mg x/L$  y la aceleración tangencial será:

$$a_t = -\frac{g}{L} \cdot x$$

Vemos pues que, para ángulos pequeños, el movimiento oscilatorio de un péndulo es un MAS ya que la aceleración tangencial es directamente proporcional a la elongación y de signo contrario, siendo la trayectoria prácticamente rectilínea.

*Obtened la expresión del periodo de oscilación de un péndulo simple (para ángulos pequeños), en función de su longitud.*

Al tratarse de un MAS, la aceleración se podrá expresar como  $a = -Aw^2 \sin (wt + \varphi_0)$  y la elongación como  $x = A \sin (wt + \varphi_0)$  con lo que sustituyendo en:

$$a_t = -\frac{g}{L} \cdot x \quad \text{obtenemos:} \quad -Aw^2 \sin (wt + \varphi_0) = -\frac{g \cdot A \sin (wt + \varphi_0)}{L} \quad \rightarrow \quad w^2 = \frac{g}{L}$$

Teniendo ahora en cuenta que  $w = 2\pi/T$  nos queda:  $\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{L} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

Como vemos, la expresión obtenida es coherente con la que obtuvimos anteriormente de forma experimental ( $T = C \cdot \sqrt{L}$ ) siendo la constante  $C = 2\pi/\sqrt{g}$ .

#### **B.5.2. Cálculo de la intensidad del campo gravitatorio**

A continuación vamos a utilizar los conocimientos aprendidos para diseñar y llevar a cabo algún procedimiento sencillo con el que calcular el valor de la intensidad del campo gravitatorio terrestre en el lugar donde nos encontremos.

*Sugerid algún procedimiento sencillo para calcular de forma aproximada el valor de la intensidad del campo gravitatorio terrestre.*

Una posibilidad es, evidentemente, utilizar un péndulo simple del que conocemos su longitud y medir experimentalmente el periodo de oscilación (para un ángulo pequeño). A continuación basta aplicar la expresión de T y obtener a partir de ella el valor de g buscado. Podemos hacer la experiencia varias veces y hallar así el valor medio de g.

Otra posibilidad es aprovechar la gráfica que construimos de T en función de  $L^2$ . A partir de la misma se calculó el valor “k” de la pendiente de la recta y con él el valor de la constante C (mediante  $C = \sqrt{1/k}$ ). Posteriormente vimos que  $C = 2\pi/\sqrt{g}$ . Pues bien, ahora bastaría sustituir en la expresión anterior el valor de C obtenido experimentalmente y despejar g.

### **B.5.3. El péndulo de Foucault**

La explicación del llamado péndulo de Foucault es una demostración concluyente de la rotación de la Tierra. Se trata de un montaje que suele verse ¿y entenderse? En casi todos los Museos de la Ciencia.

*Una de las propiedades que tiene el péndulo simple es que, si no existen perturbaciones externas, cuando se separa de su posición de equilibrio y se le suelta siempre oscila en el mismo plano, ya que la fuerza peso de la bolita siempre va dirigida hacia el centro de la Tierra, y no puede cambiar el plano de oscilación. Interpretad las consecuencias de esta propiedad en el caso de un péndulo situado en uno de los polos terrestres, de tal forma que su eje de oscilación coincida con el de rotación de la Tierra, y en el caso de otro situado en el ecuador.*

Sabemos que durante muchos siglos, la mayoría de la gente pensaba que la Tierra permanecía inmóvil en el centro del Universo y que el Sol, la Luna, el resto de los planetas conocidos y todas las estrellas, giraban a su alrededor describiendo circunferencias concéntricas con un movimiento regular, como así parece sugerirlo la trayectoria que dichos astros describen de manera sistemática en el cielo. Así, el Sol, cada día daría una vuelta completa alrededor de la Tierra saliendo por el E y poniéndose por el O, etc.

En 1543, Copérnico expuso su teoría heliocéntrica, según la cual era el Sol y no la Tierra, el centro del Universo, siendo esta última la que, debido a su movimiento de rotación en torno a su eje de O a E, provocaba el fenómeno de los días y las noches y hacía que pareciese que el Sol se movía sobre nuestras cabezas de E a O.

La teoría de Copérnico, no fue aceptada por la Iglesia de su tiempo, sino condenada como una herejía. En 1851, el físico francés Foucault ideó un péndulo para evidenciar la rotación de la Tierra en torno a un eje imaginario que la atravesara de N a S. El experimento se basa en la propiedad del péndulo simple de oscilar siempre en el mismo plano. En una de sus demostraciones, Foucault utilizó un hilo de 67 m y una bala de cañón de 28 kg. Aunque el plano de oscilación del péndulo no puede girar, el hecho de que la tierra gire sobre sí misma, hace que parezca que dicho plano de oscilación cambia respecto a los observadores que lo miran (situados, claro está, sobre la superficie terrestre), de manera que si dispusiéramos de un péndulo así en un recinto, un observador situado

### 3. Los trabajos prácticos

---

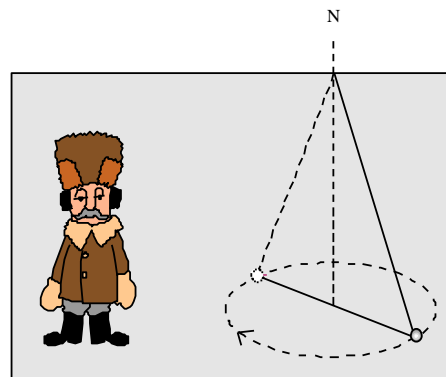
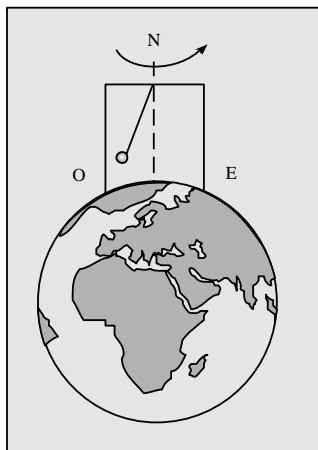
sobre la bola del péndulo de Foucault, vería girar el recinto a su alrededor, es decir, vería cómo gira la Tierra.

*¿Qué ocurriría si dispusiéramos un péndulo de Foucault justo en uno de los polos?*

Si colocásemos un péndulo justo en el polo norte, un observador situado en reposo cerca de él vería que el plano de oscilación giraría  $360^\circ$  describiendo una circunferencia, empleando en ello todo el día, en el sentido de E a O.

*A continuación se transcribe parte de la explicación que dio el propio Foucault en una conferencia a este respecto:*

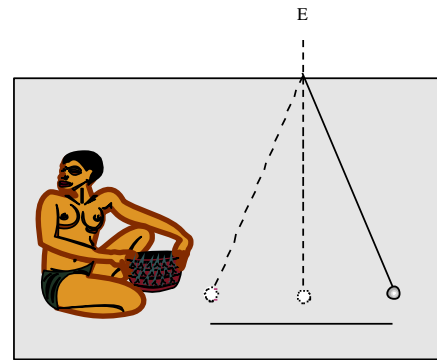
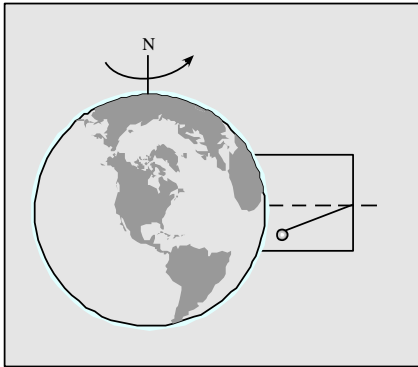
"Las numerosas e importantes observaciones que se han hecho hasta ahora con el péndulo, tienen como objetivo determinar la duración de sus oscilaciones. Sin embargo, lo que yo me propongo aquí es mostrar que el desplazamiento de su plano de oscilación de E a O, es una prueba palpable de la rotación diaria de la Tierra de O a E. Con este objeto, me permitiré ignorar el movimiento de traslación de la Tierra (que no ejerce ninguna influencia en el fenómeno analizado) y supondré que el observador es trasladado al Polo en donde hemos colocado un péndulo simple suspendido de un único punto absolutamente fijo a la Tierra y de modo que el hilo en la posición de reposo coincida con el propio eje de rotación terrestre.



Si en estas condiciones hacemos oscilar la bola, el péndulo describirá un arco de círculo situado en un plano nítidamente determinado el cual, en virtud de la inercia de la materia, al estar el hilo suspendido por un punto dado y ser la bola atraída constantemente hacia el mismo centro de la Tierra, tendrá asegurada una posición invariable en el espacio. En consecuencia, si las oscilaciones se prolongan durante un tiempo, el movimiento del globo terrestre que no deja ni por un instante de girar de O a E, se hará patente por contraste, con el plano de oscilación, de manera que en caso de que fuese posible mantener las oscilaciones durante 24 horas y con la misma amplitud, la proyección de la bola del péndulo sobre el suelo del Polo, habría formado un círculo perfecto en torno al eje de rotación terrestre. "

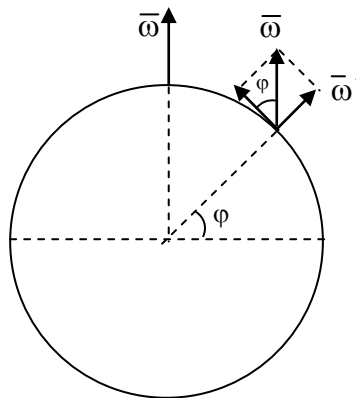
*¿Qué ocurriría si dispusiéramos un péndulo de Foucault justo en el ecuador?*

En ese caso hay que tener en cuenta que el marco del que pende el péndulo se mueve solidariamente con el ecuador terrestre alrededor del eje N-S, y por tanto, un observador allí situado no vería cambiar el plano de oscilación del péndulo.



*¿Que pasa en un punto que se encuentre entre el polo y el ecuador?*

Se trata de una situación intermedia a las descritas anteriormente. En este caso, se puede comprobar que el plano de oscilación del péndulo gira en el sentido previsto, pero emplea más de 24 horas en dar la vuelta.



$$\omega' = \omega \cdot \text{sen } \varphi$$

Como  $\omega = 2\pi/T$  siendo T el periodo de rotación de la Tierra en torno a su eje. El péndulo, describirá un giro completo en 24 horas para un observador situado en el polo (donde  $\varphi = 90^\circ$  y  $\omega' = \omega$ ) e irá aumentando la duración del giro conforme nos vayamos acercando al ecuador ( $\varphi$  disminuyendo desde  $90^\circ$  hasta  $0^\circ$ ). En el ecuador, donde  $\varphi = 0^\circ$  se tiene  $\omega' = 0$ .

### 3. Los trabajos prácticos \_\_\_\_\_

## 4. EL PROBLEMA DE LOS PROBLEMAS

El **problema de los problemas**, es desde hace tiempo, una de las principales líneas de investigación en la Didáctica de las Ciencias. Esto puede ser debido tanto a la importancia que los profesores en general, conceden a la resolución de problemas por parte de los alumnos (que suele ser considerada como una actividad fundamental para evaluar conocimientos), como al hecho de que constituye uno de los aspectos claves dentro del aprendizaje de las matemáticas y de la física y química en donde se da un mayor índice de fracaso escolar.

El problema es que, a pesar de la importancia concedida a los **problemas**, este interés generalizado no parece que se haya traducido en una mejora significativa de los resultados obtenidos por los alumnos. Una posible explicación de este hecho podría residir en que, mientras que la transformación de las prácticas de laboratorio en actividades más coherentes con las características esenciales del trabajo científico, suele ser asumida por la mayor parte del profesorado en formación y en activo sin muchas dificultades, no ocurre lo mismo con la resolución de problemas de lápiz y papel (ni tampoco con la introducción de los conceptos teóricos, como veremos en el capítulo siguiente). Ello puede ser fruto de una visión empirista de la ciencia en la que la metodología científica se asocia de forma casi exclusiva con el trabajo experimental.

No obstante, se han realizado algunos trabajos de investigación que pretenden avanzar en la didáctica de la resolución de problemas de física y química (y también en otros campos), cuestionando el **pensamiento docente espontáneo** existente en este campo y transformando la resolución de problemas en una actividad más creativa e interesante para los alumnos a la vez que en un eficaz instrumento de aprendizaje.

### ¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?

- ¿Cuáles son las causas del alto grado de fracaso en la resolución de problemas?
- ¿Qué hemos de entender por un problema?
- ¿En qué medida la didáctica habitual empleada por los profesores y utilizada en los libros de texto para resolver problemas está de acuerdo con lo que son los problemas?
- ¿Cómo habría que enfocar la resolución de un auténtico problema concebido como una situación en la que se plantean preguntas para las que, de entrada, no se tienen respuestas ni se dispone de estrategias claras para llegar a obtenerlas?

De acuerdo con lo anterior, comenzaremos este tema estudiando cuáles son las causas del fracaso generalizado de los alumnos en la resolución de problemas. Un análisis en profun-

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

didad de dichas causas nos llevará a mostrar la necesidad de proceder a un replanteamiento en torno a la forma en que se suelen plantear y resolver los problemas, cuestionando incluso la misma concepción de lo que es un problema para a continuación justificar la introducción y desarrollo de otras propuestas.

### 1. ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS FORMAS HABITUALES DE RESOLUCIÓN

Uno de los supuestos implícitos asumidos por una gran parte de los profesores de física y química, es que en las clases se dedica bastante tiempo a la resolución de problemas de lápiz y papel. Sin embargo diversas investigaciones coinciden en afirmar -y así es reconocido también por muchos profesores- que en cuanto los alumnos se enfrentan a problemas que se separan, aunque sea ligeramente, de los desarrollados en clase, el índice de fracaso se hace muy elevado. Conviene, pues, que nos detengamos en primer lugar en analizar las causas de dicho fracaso.

*Indicad, a título de hipótesis, cuáles podrían ser las causas más importantes que determinan el fracaso generalizado de los alumnos en la resolución de problemas.*

En general cuando hemos hecho esta pregunta al profesorado en activo o en formación asistentes a diversos cursos de perfeccionamiento, las razones apuntadas por una gran parte de ellos, giran fundamentalmente en torno a aspectos tales como:

- La falta de una buena base teórica.
- Escaso dominio del aparato matemático.
- Lectura no comprensiva del enunciado.

Como puede observarse, se trata de explicaciones que atribuyen el fracaso a carencias existentes en los alumnos y con las que es imposible no estar de acuerdo. Sin embargo, ¿cómo aceptar **solo** este tipo de razones cuando dicho fracaso afecta tan gran número de alumnos?

Podemos así dirigir nuestra atención a otros aspectos relacionados con las orientaciones didácticas que profesores y textos suelen emplear habitualmente en la resolución de problemas. Es decir, se trata de considerar la hipótesis de que un fracaso tan generalizado como el que se da en la resolución de problemas de física y química, puede estar relacionado en gran medida con errores de planteamiento en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Dado que en esta actividad raramente se aducen causas que inculpen a la propia didáctica empleada, conviene detenerse en primer lugar en mostrar el importante papel que ésta puede representar. Para ello, suele ser útil la resolución y discusión posterior de la siguiente actividad.

*Determinad la distancia total recorrida por un móvil durante los cinco primeros segundos, sabiendo que su ecuación de movimiento viene dada por la expresión  $e = 25 + 40t - 5t^2$ , donde “e” es la posición sobre la trayectoria en metros y “t” el tiempo en segundos.*

Cuando esta actividad ha sido planteada en cursos de formación, entre las respuestas que se dan con más frecuencia suelen encontrarse las siguientes:



a) En primer lugar, tenemos aquellos que responden 100 m, es decir, el grupo de quienes se limitan a sustituir  $t$  por 5 y calcular así  $e = 100$  m (lo cual es correcto), identificando dicho resultado con la distancia recorrida lo que, naturalmente, es incorrecto (se trata, no obstante, de un resultado consecuencia de un error muy extendido, consistente en identificar la posición del móvil sobre la trayectoria con la distancia recorrida).

b) En segundo lugar, está el resultado de 75 m, correspondiente a quienes tienen en cuenta que en el instante inicial la posición del móvil era  $e_0 = 25$  m, con lo que  $\Delta e = 75$  m, (lo que también es correcto), identificando así el desplazamiento sobre la trayectoria con la distancia recorrida por el móvil (lo cual ya no es cierto). Pese a lo erróneo del resultado, se trata de una propuesta más elaborada.

Una forma de que quienes no resuelven correctamente el problema se den cuenta de su error, puede ser pedir que calculen la distancia recorrida durante los 6 primeros segundos. En este caso, una resolución incorrecta del mismo tipo que las anteriores llevaría respectivamente a obtener 80 m, o 55 m, lo que muestra claramente que algo no se ha hecho bien (¿cómo es posible que en más tiempo haya recorrido menos distancia?) y la necesidad de un replanteamiento.

No obstante, lo que más nos interesa aquí es reflexionar sobre el hecho de que un problema tan sencillo conduzca a esos resultados erróneos de forma tan generalizada, incluso entre licenciados universitarios en física o en química, de los que no puede decirse que no tengan la base física y matemática necesaria o que no comprendan el enunciado, por lo que a continuación conviene pasar a tratar este punto.

*Analizad los resultados erróneos obtenidos en la actividad anterior y sugerid algunas indicaciones que nos permitan profundizar respecto a las causas del fracaso en la resolución de problemas. Se trata, en definitiva, de reflexionar sobre cuestiones tales como: ¿A qué cabe atribuir los resultados anteriores? ¿De qué pueden ser índices? ¿Qué sugieren?*

En general las propuestas se pueden agrupar en torno a tres grandes bloques:

### **1.1. Un aprendizaje superficial**

Un aprendizaje superficial que no se ha detenido en la clarificación de los conceptos. De hecho, en una ecuación como la propuesta, “ $e$ ”, indica la posición del móvil en cada instante, es decir, la posición respecto a un punto fijo de la trayectoria que se toma como origen. El valor absoluto de  $e$ , coincide con la distancia medida sobre la trayectoria a dicho origen en cada instante  $t$ . Así pues, un resultado como  $e = 100$  m (para  $t = 5$  s), no indica que se hayan recorrido 100 m, a los 5 s, sino que el móvil se encuentra a 100 m del punto de referencia, mientras que en el instante inicial (es decir, en aquel en que se empieza a contar el tiempo) se encontraba en  $e_0 = 25$  m. La diferencia,  $\Delta e = e - e_0 = 75$  m, es evidentemente el desplazamiento (cambio de posición) experimentado por el móvil en esos primeros cinco segundos. Pero ello no asegura que dicho valor coincida con el de la distancia recorrida, a no ser que el móvil se haya desplazado siempre en el mismo sentido. Cosa que en el caso propuesto no ocurre.

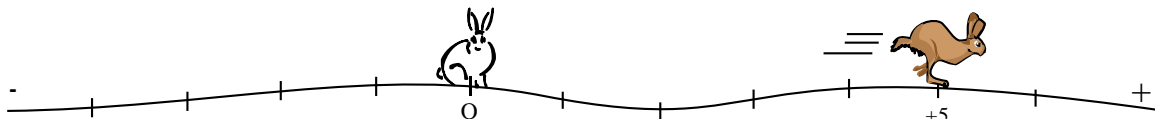
### 1.2. Utilización, casi exclusiva, de ejemplos que favorecen la confusión

La mayor parte de los problemas sobre móviles que se desplazan por una trayectoria fija, conocida de antemano, toman, explícita o implícitamente como sistema de referencia, el punto e instante en que se inicia el movimiento, lo que hace que el espacio “e” y el desplazamiento sobre la trayectoria  $\Delta e$ , coincidan.



En la figura anterior, en el instante 0 s la liebre se encuentra en punto O escogido como referencia u origen de espacios ( $e_0 = 0$ ) y más tarde en la posición  $e = -3$  m, con lo que el cambio de posición (o desplazamiento sobre la trayectoria) será  $\Delta e = -3$  m y, si solo se ha movido en sentido negativo, habrá recorrido una distancia de 3 m.

Si además se escoge como sentido positivo de la trayectoria el del movimiento y éste es uniforme o con aceleración tangencial positiva, el valor de  $e$  en cualquier instante del movimiento indicará a la vez que la posición sobre la trayectoria, el desplazamiento sobre la trayectoria y también la distancia recorrida.



En la figura anterior en el instante 0 s la liebre se encuentra en O y más tarde, en la posición  $e = 5$  m, con lo que  $\Delta e = 5$  m y si solo se ha movido en sentido positivo habrá recorrido una distancia de 5 m.

La repetición exclusiva de ejemplos donde esto ocurre, lleva no solo a confundir los conceptos sino a hacer «innecesario» (es decir, a olvidar), el tener en cuenta el sistema de referencia. El carácter relativo de todo movimiento es así escamoteado, negado en la práctica, por mucho que se haya podido insistir en ello retóricamente con anterioridad. Y es necesario tener en cuenta que esta costumbre de “absolutizar” el movimiento, tomando siempre como referencia implícita el punto e instante de donde parte el móvil y sentido positivo el del movimiento, corresponde a tendencias profundamente arraigadas en el niño, tales como centrar todo en sí mismo, en su propia experiencia, generalizándola acríticamente. De aquí que el error cometido al resolver el problema propuesto, no pueda ser considerado como un «pequeño olvido» más o menos sin importancia, sino como un índice de que el aprendizaje realizado no ha supuesto una correcta comprensión de los conceptos y continúan vigentes preconcepciones que es necesario superar.

Pero no se agotan aquí las razones fundamentales de la incorrecta resolución de un problema tan elemental como el propuesto. Es necesario también referirse a los aspectos metodológicos.

### 1.3. El operativismo extremo

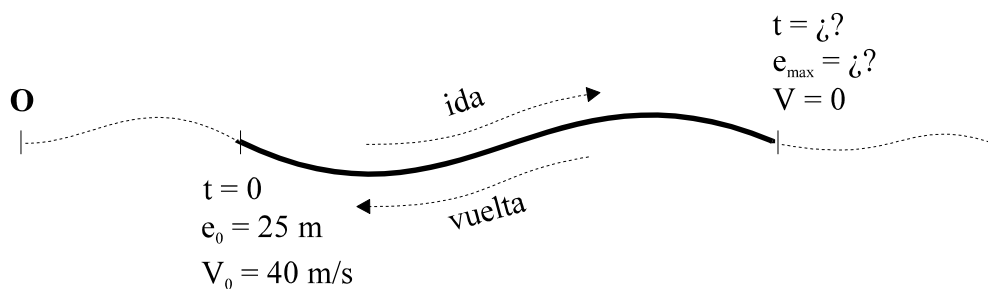
Albert Einstein decía que:

«Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico comience a calcular, debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente».

Sin embargo, una fuente fundamental de errores es, sin duda, el operativismo extremo con el que se aborda los problemas, el cual lleva a sustituir inmediatamente los datos numéricos y operar sin ninguna reflexión cualitativa previa. Hubiera bastado, en efecto, un mínimo planteamiento cualitativo para evitar resultados erróneos en el problema propuesto y resolver correctamente el problema, tal y como se propone a continuación:

1º La ecuación  $e = 40t - 5t^2 + 25$  describe el movimiento de un objeto a lo largo de su trayectoria: el valor absoluto de la posición sobre la trayectoria “e” indica la distancia al punto origen “O” de la misma que se toma como referencia, y se comienza a contar el tiempo cuando el móvil se encuentra a 25 m de dicho punto.

Se trata, por otra parte, de un movimiento uniformemente acelerado con una rapidez inicial de 40 m/s que irá disminuyendo debido a la aceleración negativa de  $-10 \text{ m/s}^2$ . De acuerdo con ello, el móvil va alejándose del punto de referencia cada vez más lentamente y, al cabo de cierto tiempo, su rapidez pasa por el valor 0 (se para en ese instante) e inmediatamente se hace negativa comenzando a regresar hacia el origen moviéndose cada vez más deprisa. Gráficamente el proceso puede ser esquematizado como se muestra en la figura adjunta:



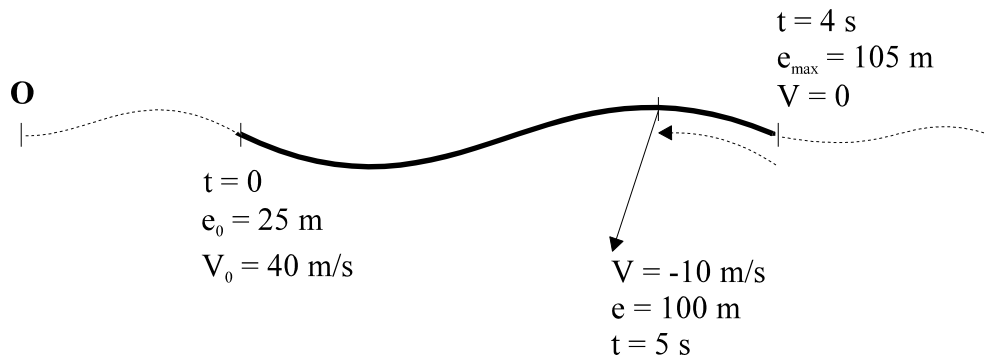
2º Atendiendo a las características del movimiento, el cálculo de la distancia recorrida pasa por averiguar si en los primeros 5 s el móvil ha comenzado ya a regresar o no. En este último caso bastará con calcular  $\Delta e$ , que coincidirá con la distancia recorrida en ese tiempo. Pero si ya está de vuelta, es necesario descomponer el problema en dos partes: la primera correspondiente a la etapa en que se está alejando del punto de referencia y la segunda, a la etapa de regreso; la suma de los  $\Delta e$  respectivos (en valor absoluto) proporcionará la distancia total recorrida.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, es preciso calcular en primer lugar el tiempo que tardará en pararse y ver si es o no superior a los 5 s. Escribimos la ecuación de la rapidez  $v = 40 - 10t$  y hacemos  $v = 0$ , con lo que se obtiene  $t = 4 \text{ s}$ . Como hemos visto, el móvil cambia de sentido a los 4 s, instante en el que se encuentra en la posición  $e = 25 + 40 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 = 105 \text{ m}$ , con lo que la distancia recorrida a la ida coincidirá con el valor absoluto de  $\Delta e$  a la ida, es decir:  $\Delta e = 105 - 25 = 80 \text{ m}$ . En el instante  $t = 5 \text{ s}$ , el móvil se encuentra en la posición dada por  $e = 25 + 40 \cdot 5 - 5 \cdot 5^2 = 100 \text{ m}$ . Con lo que la distancia recorrida

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

a la vuelta, hasta ese instante, coincidirá con el valor absoluto del  $\Delta e$  correspondiente, esto es  $\Delta e$  (en valor absoluto) = 5 m.

Así pues la distancia total recorrida a los 5 s resulta ser de  $80 + 5 = 85$  m, y el problema queda esquematizado como se indica a continuación:



Esta es, naturalmente, la respuesta correcta y también, lo que es más importante, un método correcto de resolución. Pensemos que si el ejemplo propuesto hubiera sido  $e = 40t + 5t^2$ , la simple sustitución de  $t$  por 5, hubiese proporcionado una respuesta numéricamente correcta: distancia recorrida = 325 m. Pero el problema, en nuestra opinión, hubiese estado igualmente mal resuelto. Solo si dicho cálculo hubiera estado precedido de una reflexión cualitativa, podría ser aceptado como correcto. Así en este caso, sería necesario explicitar que se trata de un movimiento a lo largo de la trayectoria, tomando como punto de referencia la posición del móvil cuando se empieza a contar el tiempo (para  $t = 0$ ,  $e = 0$ ). Se trata además de un MUA con una velocidad inicial de 40 m/s y una aceleración de  $10 \text{ m/s}^2$  ambas positivas, por lo que el móvil se alejará continuamente y cada vez más aprisa del punto de referencia, en el sentido escogido como positivo. En este caso el desplazamiento sobre la trayectoria coincide con el valor de  $e$  y el de la distancia recorrida en cada instante.

Habituando a los alumnos a tales consideraciones no solo es posible evitar resultados aberrantes en casos como el aquí planteado, sino que se supera un operativismo abstracto y carente de rigor, que constituye uno de los defectos principales con que se enfrenta el aprendizaje (y la docencia) de las ciencias.

Una discusión como la anterior permite también una “toma de conciencia” acerca de las deficiencias de la enseñanza habitual en la didáctica de la resolución de problemas de lápiz y papel y comprender la necesidad de un replanteamiento en profundidad de este tema.

## 2. NECESIDAD DE UN REPLANTEAMIENTO EN PROFUNDIDAD

Ya hemos comentado anteriormente que aunque el **problema del fracaso generalizado en la resolución de problemas por parte de los alumnos**, constituye una importante y antigua línea de investigación didáctica, la mayor parte de los trabajos realizados en este campo no han producido resultados aceptables y dicho fracaso sigue, a pesar de todo, afectando a un gran número de alumnos.

Algunas de las mayores dificultades que a menudo ha encontrado el desarrollo de una ciencia, derivan en ocasiones de determinados supuestos implícitos que son aceptados sin

cuestionamiento alguno, escapando así a toda posible crítica (piénsese, por ejemplo, en las concepciones de tiempo y espacio absolutos y la teoría de la relatividad). En estos casos se impone, como la propia historia de la ciencia se ha encargado de mostrar, un replanteamiento en profundidad que analice críticamente hasta lo más obvio.

Nuestra hipótesis es que en muchas de las investigaciones didácticas que se vienen realizando respecto a la resolución de problemas, puede estar ocurriendo algo similar a lo que acabamos de señalar y que el escaso éxito obtenido se debe a que se han aceptado ciertos supuestos implícitos de manera acrítica, por lo que conviene hacer también aquí un replanteamiento en profundidad. Ello supone, en primer lugar, descender hasta la clarificación misma de lo que es realmente un problema. Esta es, pues, la actividad que proponemos a continuación:

*¿Qué hemos de entender por un problema?*

En ocasiones se ha señalado que por lo general, los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no suelen plantearse qué es un problema, lo cual puede constituir, en nuestra opinión, una seria limitación en sus investigaciones. No obstante, lo cierto es que entre aquellos que sí han abordado la cuestión, existe un acuerdo común en caracterizar a los problemas como **situaciones que plantean dificultades para las que no existen soluciones hechas**.

La definición dada por Krulik y Rudnik, resume bastante bien este consenso:

**“Un problema es una situación -cuantitativa o no- que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla”.**

Esta misma idea aparece indirectamente cuando se habla de resolución de problemas. Así, Polya afirma que:

**“Resolver un problema consiste en encontrar un camino allí donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, para alcanzar un objetivo deseado que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios adecuados”.**

Por otra parte, algunos autores señalan que la existencia de dificultades no es una característica intrínseca de una situación y que el que resulte más, menos (o nada) problemática, depende de los conocimientos, experiencia, etc., que tiene quien se enfrenta a ella. Una idea interesante es la existencia de un **umbral de problematicidad** diferente para cada individuo y por encima del cual se puede considerar que una situación constituye un verdadero problema para las personas implicadas. Como es lógico, dicho umbral varía dependiendo de la naturaleza de la situación y del momento en que es planteada. Si nos alejamos muy por encima de ese umbral, el problema se hace irresoluble para la persona implicada. Por el contrario, si nos situamos ligeramente por encima de ese umbral es posible conseguir grandes progresos.

En las ideas expuestas anteriormente existe una primera fuente para la comprensión de los resultados tan negativos alcanzados en la enseñanza habitual. A continuación nos plantearemos la relación existente entre dichas ideas acerca de la naturaleza de los problemas y lo que se suele hacer en clase habitualmente.

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

*¿En qué medida las explicaciones de los problemas tal y como se realizan habitualmente por el profesor y en los libros de texto están de acuerdo con lo tratado anteriormente?*

En las ideas anteriores respecto a la naturaleza de un problema y umbral de problematización, existen ya algunas indicaciones que nos permiten comenzar a comprender por qué los resultados en la resolución de problemas por parte de los alumnos, son habitualmente tan negativos. En efecto, es fácilmente contrastable que los problemas son explicados, en muchos casos, como algo que **se sabe hacer**, que no genera dudas ni exige tampoco tentativas. El profesor conoce la situación (para él no es un problema) y la explica linealmente de la forma "más clara posible", con lo que muchos alumnos podrán aprender la solución y repetirla en problemas que reconozcan como iguales o muy semejantes pero, sin embargo, se encuentran con graves dificultades cuando tienen que abordar un verdadero problema para ellos, en donde al no reconocer una situación en la que puedan actuar de forma mecánica, suelen abandonar rápidamente, llegando a pensar que la resolución de problemas es una actividad cuyo éxito está solo al alcance del profesor y unos pocos privilegiados (lo que favorece, en última instancia, una visión elitista de la ciencia). Además los enunciados de los problemas son, con frecuencia, demasiado abstractos, con una escasa o nula relación con la realidad que rodea al alumnado (lo que favorece también una visión descontextualizada de la ciencia).

En definitiva pues, es necesario insistir en la incoherencia que conlleva el explicar los problemas como **no problemas**. Intentaremos ahora ir un poco más allá de esta crítica a la forma habitual en que se enseña a resolver los problemas, analizando algunas de las implicaciones que la idea de problema que hemos introducido, tiene en cuanto a cómo enfocar dicha resolución.

*A partir de las consideraciones anteriores acerca de la verdadera naturaleza de los problemas, sugerid cómo habría que plantear entonces su resolución.*

Si se acepta la idea de que todo problema es una situación ante la cual, de entrada, se está inicialmente perdido, una posible orientación consistiría en preguntarse qué hacen los científicos cuando se encuentran en tal situación, es decir, delante de lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se incluyen en cualquier libro de texto. La respuesta en este caso es, simplemente, que se comportan como investigadores. Y si bien es cierto que la metodología científica no es un conjunto rígido de etapas a seguir, resulta indudable que, tal y como vimos en los temas anteriores, el tratamiento científico de los problemas posee unas características generales comunes, como son la emisión de hipótesis, la elaboración de diseños, el análisis crítico de los resultados, etc., que habría que tratar de tener también en cuenta en los problemas de lápiz y papel. No obstante, a pesar de las continuas referencias a la metodología científica, lo cierto es que dicha metodología se ve escasa o deficientemente reflejada en la mayor parte de las actividades que habitualmente se realizan en clase y especialmente en la resolución de problemas.

*¿Qué es lo que en los enunciados habituales de los problemas dificulta un tratamiento científico de los mismos y deja en particular sin sentido, actividades como la emisión de hipótesis o la consideración de diferentes formas de obtener los resultados?*

La respuesta a esta actividad no es fácil, pero el hilo conductor seguido hasta aquí, conduce a admitir que la inclusión de los datos en el enunciado orientan la resolución del problema

hacia la búsqueda de expresiones que relacionen las magnitudes a que corresponden dichos datos con aquellas que constituyen las incógnitas, sin que ello responda a una reflexión cualitativa previa ni a la emisión de ninguna hipótesis, cayendo así en el puro operativismo. De hecho, la costumbre de tomar los datos como punto de partida hace que los alumnos tengan serias dificultades cuando, por ejemplo, tratan de resolver un problema en el que, a propósito, se ha incluido un excesivo número de datos en el enunciado, ya que suelen tratar de incluir estos por todos los medios, lo que lleva a utilizarlos de forma no significativa e incluso absurda.

En una investigación científica, la búsqueda de los datos pertinentes se suele realizar a la luz de una visión cualitativa y en profundidad de la situación planteada, que incluye un planteamiento preciso del problema, así como la emisión de hipótesis que orientan dicha investigación. La comprensión, pues, de que la presencia de datos en los enunciados y la indicación de todas las condiciones existentes como punto de partida, responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución, constituye un aspecto esencial para superar las limitaciones de la enseñanza habitual en la resolución de problemas.

Las consideraciones anteriores suelen causar un cierto desconcierto inicial, ya que chocan frontalmente con la práctica reiterada, con lo que "siempre se ha hecho". Un enunciado sin datos, se señala, es algo excesivamente ambiguo frente a lo cual los alumnos acabarían extraviándose. Conviene reflexionar entonces sobre el hecho de que precisamente la ambigüedad o las situaciones problemáticas abiertas, es la situación de partida que se da en las actividades genuinamente problemáticas y que una de las tareas fundamentales del trabajo científico es acotar los problemas e imponer condiciones simplificadoras.

A continuación vamos a tratar de abordar cómo hacer frente a las dificultades señaladas anteriormente. En primer lugar nos centraremos en la posibilidad de transformar el enunciado de los problemas que se proponen habitualmente, y después nos plantearemos qué orientaciones conviene dar a los alumnos cuando se trata de resolver problemas como investigación.

*Proceded a transformar los enunciados de los problemas que se dan a continuación, por otros más acordes con la propuesta sobre la que acabamos de argumentar.*

**1a.** Se lanza verticalmente hacia arriba un móvil con una rapidez inicial de 200 m/s. Suponiendo constante la aceleración de la gravedad y de valor (absoluto)  $10 \text{ m/s}^2$ . Determinése: a) El tiempo que tarda en llegar a su altura máxima. b) El valor de dicha altura máxima.

**2a.** Una barca que se desplaza a 6 m/s sale de la orilla de un río de 60 m de ancho en una dirección que forma un ángulo de  $60^\circ$  con dicha orilla (en el sentido en que se desplaza la corriente). Determinad a qué punto de la otra orilla llegará la barca suponiendo que la rapidez de la corriente sea constante y su valor 2 m/s.

**3a.** Un jugador de rugby patea el balón situado en el suelo y éste sale de su pié con rapidez de 18 m/s formando un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. Otro jugador, que se encuentra a 40 m de distancia del balón, corre en ese mismo instante directamente a por él. ¿Cuál debe ser su rapidez, supuesta constante, para coger el balón justo cuando éste llega de nuevo al suelo?

**4a.** Sobre un vehículo de 1000 kg de masa que se desplaza con una rapidez de 108 km/h, actúa una fuerza resultante de frenado de 7500 N. ¿Qué distancia recorrerá hasta pararse?

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

**5a.** Sabiendo que la masa de la Tierra es 81 veces mayor que la de la Luna y que la distancia media entre ellas es de 384000 km, se pide: Considerando ambos astros como un sistema de dos masas puntuales, calculad a qué distancia de la Tierra la intensidad del campo gravitatorio resultante de dicho sistema será nula.

**6a.** Se deja caer un cuerpo desde una altura sobre el suelo igual al radio de la Tierra. Considerando el rozamiento despreciable, calculad la rapidez con que chocaría contra el suelo. Datos: Intensidad del campo gravitatorio terrestre en el suelo,  $g_0 = 9.8 \text{ N/kg}$ ; radio de la Tierra,  $R = 6370 \text{ km}$ .

**7a.** Determinad cuál será la máxima profundidad que puede tener una piscina completamente llena de agua, para que una persona sentada a 3.3 m del borde y cuya vista queda a una altura de 1.2 m sobre el suelo, pueda ver un objeto que se encuentra en el fondo y al centro de la piscina. (Anchura de la piscina 15 m. Índice de refracción del agua 1.33)

**8a.** ¿Qué volumen de ácido clorhídrico 12 M precisaremos para obtener 40 cm<sup>3</sup> de disolución 3 M de éste mismo ácido?

**9a.** El fuel que se emplea en una central térmica contiene un 0.8 % en peso de azufre. Suponiendo que todo el azufre reacciona con el oxígeno para dar dióxido de azufre y que en la central citada se queman al día 40 toneladas de fuel ¿cuántos litros de dióxido de azufre gaseoso (medidos a 730 mm de Hg y 120 °C) salen por la chimenea diariamente?

**10a.** Una persona toma una bebida alcohólica de 40° de graduación. Suponiendo que por cada 100 g de alcohol ingerido van a parar a la sangre 20 g y que el límite de la concentración de alcohol en sangre permitido para poder conducir un coche particular es de 0.25 g/l, se pide: ¿A partir de qué volumen de la bebida no debe conducir? Datos: densidad del etanol 790 g/l; volumen total de sangre (con el alcohol ya incorporado) 7 l.

Si eliminamos los datos de los enunciados anteriores, estos podrían quedar como sigue:

**1b.** Se lanza un cuerpo hacia arriba. ¿Qué altura máxima alcanzará?

**2b.** Una barca parte de la orilla de un río para cruzarlo. ¿A qué punto de la otra orilla llegará?

**3b.** ¿Con qué rapidez debe moverse un jugador de rugby para recoger el balón que acaba de lanzar otro?

**4b.** ¿Chocará el tren con el obstáculo presente en la vía?

**5b.** ¿En qué punto del sistema formado por dos astros la intensidad del campo gravitatorio resultante es nula?

**6b.** Se deja caer un cuerpo desde una gran altura. ¿Cuál será su rapidez justo antes de chocar contra el suelo?

**7b.** Determinad cuál será la máxima profundidad que puede tener una piscina para que una persona situada fuera de la misma pueda ver un objeto que se encuentra en el fondo.

**8b.** ¿Qué volumen de una disolución concentrada será necesario emplear para obtener una disolución más diluida?



**9b.** ¿Cuánto dióxido de azufre se desprende por la chimenea de una central térmica en la que se quema fuel?

**10b.** ¿Cuántas copas de licor como máximo puede ingerir un conductor sin llegar a ser un peligro para la circulación?

Obviamente, no basta cambiar los enunciados de los problemas para conseguir resolverlos con más éxito. Es necesario además dar a los alumnos algunas orientaciones generales que les lleven a abordarlos y resolverlos respetando su verdadera naturaleza de tarea científica. Esto es precisamente lo que vamos a tratar en el siguiente punto.

### 3. LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN

*Enumerad a la luz de lo visto hasta aquí, qué orientaciones se deberían de suministrar a los alumnos para facilitar el aborde de situaciones problemáticas abiertas.*

Hemos intentado mostrar que la presencia de datos en el enunciado de los problemas, así como la indicación de todas las condiciones imperantes (tomado todo ello como punto de partida), responde a concepciones inductivistas que influyen negativamente en el aprendizaje de la resolución de problemas. Consecuentemente, se propuso la supresión de los datos de los enunciados (que imposibilita el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas), como una forma alternativa de plantear los problemas. Sin embargo, es evidente que no basta enfrentar a los alumnos a problemas sin datos, para conseguir automáticamente una mejora significativa de la situación. Así pues se plantea ahora una cuestión fundamental: ¿Qué orientaciones concretas hemos de proporcionar a los alumnos, que sean coherentes con la idea de problema que estamos manejando?

Recordando lo tratado hasta aquí acerca de la naturaleza de la ciencia y de la investigación científica, podemos concretar dichas orientaciones en:

#### 3.1. Planteamiento cualitativo del problema

**Comenzar por un análisis cualitativo de la situación, planteando con claridad qué es concretamente lo que se pide en el problema, aquello que se busca, qué interés puede tener, precisando así mismo las condiciones que se consideran imperantes en la situación abordada para poder avanzar así en su solución, y apoyándose, siempre que sea posible, en representaciones o esquemas gráficos apropiados.**

Esto es precisamente lo que realizan los expertos cuando se encuentran ante lo que para ellos es un verdadero problema, y también lo que en ocasiones (sin mucho éxito) se recomienda hacer a los alumnos. No obstante, ahora éstos se ven obligados a realizar dicho análisis cualitativo, ya que no pueden evitarlo lanzándose a operar con datos puesto que no disponen de ellos. Necesariamente, pues, han de imaginar una situación física, tomar decisiones para acotar dicha situación, explicitar qué es lo que se trata de averiguar, etc.

**Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de dicha dependencia imaginando, en particular, posibles casos límite de fácil interpretación física.**

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

La emisión de hipótesis consiste en una de las actividades más importantes a realizar en cualquier investigación y constituye en la enseñanza de las ciencias (como veremos en el tema siguiente), una excelente ocasión para poner de manifiesto la existencia de posibles ideas alternativas. En nuestro caso además, los datos necesarios para la resolución del problema vendrán marcados precisamente por aquellos factores que se hayan considerado en las hipótesis emitidas. Finalmente, conviene tener en cuenta que el hecho de aventurar cómo pueden influir dichos factores y analizar algún caso límite evidente, contribuye especialmente a poder realizar después un mejor análisis del resultado.

### **3.2. Elaboración de estrategias de resolución**

**Elaboración y exposición de manera clara y breve, de una posible estrategia para la resolución del problema antes de proceder a esta, evitando recurrir al simple "ensayo y error"**

Se trata de que los alumnos, utilizando sus conocimientos de partida, elaboren de manera fundamentada una estrategia que pueda conducir a la resolución del problema y la expongan de forma resumida argumentando sobre ella y los pasos a seguir. Esta etapa sería equivalente a lo que en una investigación científica se considera como la elaboración de diseños para la contrastación de las hipótesis emitidas y como ya se ha dicho anteriormente, se trata de una actividad excelente para favorecer el desarrollo de la creatividad.

**Hacer referencia cuando sea posible a otros métodos alternativos de resolución.**

Buscar distintas vías para la resolución de un mismo problema y debatir sobre ellas es algo que no solo posibilita una mejor contrastación de los resultados obtenidos sino que, además, puede contribuir decisivamente a que los alumnos se den cuenta de la coherencia global y la validez del cuerpo de conocimientos que se va construyendo. Por otra parte, contribuye a desarrollar una imagen de la ciencia más cercana a la realidad, ya que las contrastaciones por distintas vías juegan, como ya vimos anteriormente, un papel fundamental en el trabajo científico.

### **3.3. Resolución propiamente dicha**

**Proceder a la resolución del problema de acuerdo con la estrategia escogida, razonando lo que se hace y por qué se hace, sin caer en operativismos carentes de significado.**

Se trata esencialmente de que se haga referencia a la información teórica disponible, se justifiquen las expresiones que se van a utilizar comprobando, por ejemplo, que su campo de validez es el adecuado según las condiciones que se consideran imperantes en la situación planteada y de que, sobre todo, no se proceda a una resolución mecánica o mimética del problema.

**Efectuar, siempre que sea factible, una resolución literal del problema, evitando la tendencia a trabajar desde el principio con los valores numéricos.**

Conviene tener en cuenta que no se trata de que los alumnos no manejen datos cuantitativos y obtengan un resultado final expresado numéricamente sino, más bien, de que hagan esto cuando corresponda. Para ello el profesor puede suministrar los valores numéricos

necesarios en el momento oportuno. No obstante, también es posible resolver mediante este método problemas con datos en el enunciado, siempre que los propios alumnos estén lo suficientemente familiarizados con el mismo, como para realizar los cálculos numéricos una vez que el problema haya sido resuelto de forma literal.

En muchos casos es posible efectuar una resolución literal antes de sustituir los valores numéricos. Para algunos alumnos, acostumbrados a operar con los números de forma inmediata, resulta un paso difícil. Sin embargo, se trata de algo esencial para conseguir, entre otras cosas, poder realizar un buen análisis crítico del resultado.

### 3.4. Análisis de resultados

**Analizar el o los resultados obtenidos mediante resolución literal, a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados. Realizar también un sencillo análisis dimensional.**

El análisis de los resultados de un problema se puede realizar cuando estos vienen dados en forma de una expresión literal ya que entonces es posible comprobar, de acuerdo con las hipótesis y casos límite de partida, la influencia de las magnitudes que aparecen en ellos. Además, conviene tener presente que es aquí, precisamente, en donde se puede producir algún conflicto cognoscitivo (cuando, por ejemplo, en el resultado no aparece alguna magnitud que sí había sido considerada como influyente durante el planteamiento cualitativo), convirtiéndose así también los problemas de lápiz y papel en poderosos instrumentos de cambio conceptual y metodológico.

**Analizar los valores numéricos encontrados planteándose si son valores lógicos o no**

A veces es posible que un resultado numérico se desvíe tanto que se convierta en absurdo. Este es el caso de aquellos que, ante un problema determinado obtienen, por ejemplo, que un átomo de oxígeno tiene una masa de 16 g, o que el periodo de la Luna en su giro alrededor de la Tierra es de millones de años, sin que ello les suponga ninguna inquietud.

### 3.5. Perspectivas abiertas

**Considerar las perspectivas abiertas tras la resolución del problema, contemplando por ejemplo, la posibilidad de abordarlo con un mayor nivel de complejidad, estudiando sus implicaciones teóricas (profundización en la comprensión de algún concepto), prácticas (situaciones similares de interés técnico), etc.**

Conviene tener en cuenta que las orientaciones precedentes no constituyen ninguna receta cuyo seguimiento paso a paso conduzca al éxito asegurado. Se trata, por el contrario de indicaciones muy generales que alertan contra determinados “vicios” metodológicos que impiden tratar los problemas como tales.

*Analizad la documentación que adjunte el profesor con el fin de establecer en qué medida los problemas de lápiz y papel que se contemplan en la enseñanza habitual son coherentes o no con las orientaciones anteriores.*

La documentación a que se refiere esta actividad, consta de dos partes (no incluidas en este proyecto). La primera corresponde a una selección de problemas resueltos extraídos de

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

diversos libros de texto y de problemas, utilizados habitualmente. El análisis de cómo han sido resueltos los problemas suministrados, lleva a señalar la ausencia de la mayor parte de los aspectos que hemos considerado como más relevantes según las orientaciones anteriores. En la segunda, se muestran los resultados de alguna investigación sobre resolución de problemas (tanto por profesores como en los libros de texto o en libros específicos de problemas) en la que se compruebe que dicha ausencia está, de hecho, bastante generalizada. Este tipo de actividades también pueden enfocarse como una primera aproximación a la investigación didáctica.

Mostraremos a continuación, con un ejemplo concreto, cómo esta orientación puede realmente llevarse a cabo. Hemos elegido con ese objeto un problema “clásico”, sobre la caída de graves, para que puedan apreciarse las diferencias con los tratamientos habituales. Posteriormente se pueden analizar otros ejemplos ilustrativos de problemas resueltos (ved **anexo** incluido al final del tema) y elaborar colectivamente otros nuevos (lo que permitiría un acercamiento a lo que es la tarea de producción de materiales educativos innovadores).

#### 4. EL LANZAMIENTO DE UN CUERPO HACIA ARRIBA

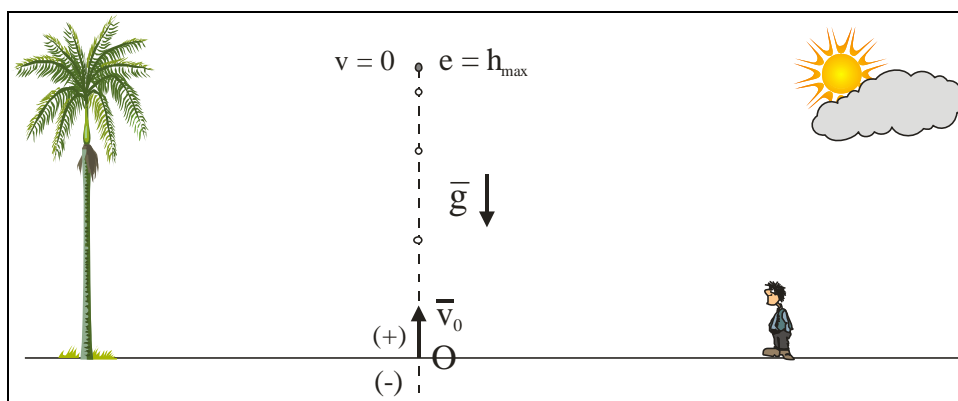
La realización de este problema se propone cuando se conocen ya las magnitudes que permiten describir el movimiento de un objeto, así como las ecuaciones que resultan en el caso de que la velocidad sea constante o lo sea la aceleración. Se trata ahora de comprobar la potencia de tales ecuaciones para abordar con éxito el estudio de problemas reales, como el que, a título de ejemplo, se plantea a continuación:

##### Se lanza un cuerpo hacia arriba. ¿Qué altura máxima alcanzará?

*1. Presentación de la situación problemática, discusión de su posible interés, precisión del problema y análisis cualitativo de la situación.*

La situación abierta que se plantea en el enunciado se puede relacionar con el problema del lanzamiento de proyectiles y comentar brevemente la importancia histórica de los trabajos de Galileo en este campo y sobre la caída de graves en general.

Podemos precisar el enunciado considerando el lanzamiento vertical desde el suelo de un objeto pequeño y compacto de forma que podamos ignorar el efecto de rozamiento con el aire. Por otra parte supondremos que no llega tan alto como para que podamos medir ninguna variación en el peso de dicho objeto.



Al lanzar el cuerpo hacia arriba desde el suelo éste sale con una rapidez inicial  $v_0$  pero debido a la gravedad sube cada vez más lentamente, hasta que llega un momento en que se detiene y comienza a descender cada vez más aprisa. Tanto en la subida como en la bajada el objeto se halla sometido solo a la fuerza peso y se mueve con la aceleración de la gravedad (que suponemos constante y dirigida siempre verticalmente hacia abajo).

En principio podemos suponer que el valor de la altura máxima alcanzada dependerá de la rapidez inicial con que se lance y del valor de la aceleración de la gravedad. Estas ideas se pueden resumir mediante la ecuación:

$$h_{\max} = h(v_0, g)$$

Podemos incluso, tratar de profundizar un poco más haciendo alguna hipótesis respecto a cómo van a influir cada una de esas variables en la altura máxima alcanzada (siempre suponiendo que las demás permanecen constantes). Así, por ejemplo, cabe pensar que:

-Cuando  $v_0$  aumente (se lance hacia arriba con mayor rapidez) más alto llegará.

-Cuando la gravedad disminuya la aceleración del objeto también será menor y su rapidez irá disminuyendo más lentamente, por lo que la altura máxima aumentará (esto ocurriría, por ejemplo, si el lanzamiento se realizaría en la Luna en lugar de hacerlo sobre la superficie terrestre).

Es muy posible que además de las variables anteriores se consideren otras, como el tiempo que esté subiendo y la masa del objeto. En cuanto a la primera, es fácil darse cuenta de que se encuentra ya implícita en las dos variables consideradas (no es posible, por ejemplo, variar la  $v_0$  con que se lanza un objeto en un lugar dado y mantener constante el tiempo que dura la subida). Respecto a la posible influencia de la masa, no hay ningún inconveniente en mantenerla como una hipótesis más de trabajo, pero sin olvidar analizarla a la luz del resultado obtenido.

## 2. Diseño de posibles estrategias de resolución

Dado que la trayectoria es conocida (línea recta perpendicular al suelo), podemos aplicar un tratamiento escalar para resolver el problema. Para ello escogeremos arbitrariamente un punto de la trayectoria como origen de espacios (por ejemplo el punto del suelo desde donde se lanza) y un sentido como positivo (por ejemplo hacia arriba), tal y como se indicó en la figura anterior.

La aceleración tangencial es constante y según el esquema anterior será negativa e igual a la aceleración de la gravedad. Se trata, pues, de un movimiento uniformemente acelerado, cuyas ecuaciones de movimiento son:

$v = v_0 + a(t - t_0)$  para la rapidez  $v$  en cualquier instante  $t$ .

$e = e_0 + v_0(t - t_0) + \frac{a}{2}(t - t_0)^2$  para la posición  $e$  en cualquier instante  $t$ .

Teniendo en cuenta las condiciones imperantes en el problema los datos serían:

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Un objeto de masa  $m$  que en el instante  $t_0 = 0$  se lanza desde el suelo ( $e_0 = 0$ ) verticalmente hacia arriba con una rapidez inicial  $v_0$  (positiva) y que se mueve con una aceleración sobre la trayectoria constante y negativa ( $-g$ ).

De acuerdo con lo anterior, la ecuación de la rapidez  $v$  y de la posición  $e$  en cualquier instante, vendrán dadas respectivamente por:

$$(1) v = v_0 - gt$$

$$(2) e = v_0 t - \frac{g}{2} t^2$$

En las ecuaciones anteriores hemos optado por colocar el signo correspondiente (de acuerdo con el criterio arbitrario especificado al comienzo) antes de sustituir ningún valor numérico. La altura máxima coincidirá en este caso con el valor de la posición e durante la subida en el preciso instante en que el objeto se pare (momentáneamente) para volver a caer. Ese instante puede calcularse haciendo  $v = 0$  en la ecuación (1) y despejando  $t$ .

Otra posibilidad para resolver el problema es mediante de consideraciones de trabajo y energía al sistema objeto-Tierra. En este caso, de acuerdo con las condiciones del problema, la energía mecánica se conserva y la disminución de energía cinética en la subida ha de coincidir exactamente con el aumento de energía potencial gravitatoria. Manejando esta igualdad podríamos tratar de obtener la altura máxima.

### 3. Resolución, análisis de resultados, implicaciones y nuevas perspectivas

Mediante la primera estrategia, a partir de la ecuación (1) hacemos  $v = 0$  y despejamos  $t$  (que coincidirá entonces con el tiempo que tarda en subir), con lo que:

$$0 = v_0 - gt \rightarrow t = v_0/g$$

Sustituyendo ahora en la ecuación (2) queda que: 
$$h_{\max} = v_0 \cdot \left(\frac{v_0}{g}\right) - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{v_0}{g}\right)^2$$

Simplificando, obtenemos finalmente la expresión de la altura máxima 
$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Mediante la segunda estrategia, bastaría con tomar como nivel 0 de energía potencial gravitatoria el suelo y tener en cuenta que al alcanzar la altura máxima  $h$ , el objeto se para momentáneamente con lo que la energía cinética en ese punto será nula. Así pues:

$$E_{p_0} + E_{c_0} = E_p + E_c \rightarrow \frac{1}{2} m v_0^2 = m g h_{\max} \rightarrow h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Como vemos, mediante las dos estrategias propuestas se ha llegado al mismo resultado literal, lo que refuerza su validez. Por otra parte, esta forma de proceder nos permite analizar dicho resultado y darnos cuenta si se cumplen o no las hipótesis de partida y los posibles casos límite considerados (cosa imposible sin una resolución literal). En primer lugar, la ecuación es dimensionalmente homogénea (L en ambos lados). Además cuanto

mayor es la rapidez con que se lanza el objeto mayor altura máxima alcanzará, pero ahora, es posible darse cuenta de una forma más precisa cómo influye esa variable que al estar elevada al cuadrado hace que a doble rapidez inicial no se obtenga doble altura máxima sino cuádruple. También hay que llamar la atención, en su caso, sobre la no presencia de la masa en dicho resultado. Finalmente, se pueden dar valores y obtener un resultado numérico. Además, es posible proponer nuevos problemas relacionados, que pueden resolverse en cursos de física posteriores, como podría ser el caso de que el lanzamiento no fuese vertical.

Como es lógico, los problemas que se pueden plantear no son únicamente problemas de lápiz y papel. También son posibles otras situaciones problemáticas de interés que pueden dar más sentido al aprendizaje.

## 5. EXTENSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE PROBLEMAS A OTROS ASPECTOS

La resolución de problemas es una línea de investigación didáctica en la que se han realizado diversas tesis doctorales y publicado una gran cantidad de trabajos desde inicios de la década de los 80 en el siglo pasado hasta la actualidad, y no solo en física sino también en matemáticas, química y biología, incluyendo algunos números monográficos en revistas. No obstante, la traducción de toda esa investigación en materiales con ejemplos concretos de problemas resueltos como investigación para trabajar con ellos en el aula, es todavía escasa, bien sea en forma de libros específicos de problemas o bien sea incorporando dichos problemas en libros de texto. En el **anexo** al final de este tema se incluye la resolución del resto de problemas planteados en el mismo. Para una visión más amplia, se pueden consultar las referencias bibliográficas correspondientes.

Cabe plantearse ahora, si las actividades problemáticas, pueden extenderse a otros aspectos claves para el aprendizaje, diferentes al de la propia resolución de problemas de lápiz y papel.

*Considerad otros aspectos fundamentales en un curso de física y química habitualmente planteados como algo ya dado y que convenga que surjan también como consecuencia de actividades problemáticas.*

En el tema anterior se pudo apreciar la importancia de que los trabajos prácticos de laboratorio respondieran a la necesidad de contrastar unas hipótesis sobre un problema previamente planteado. Se trata ahora, de estudiar la posibilidad de conseguir que otros aspectos como la justificación de los temas a tratar durante el curso o el propio índice de cada tema, respondan también a **problemas estructurantes** previos, superando así el planteamiento dogmático con que se suelen presentar, sin ninguna razón que justifique los diferentes temas del programa o los apartados a estudiar en cada tema en particular.

El hecho de que, por ejemplo, el índice de una unidad didáctica no sea establecido por definición, sino que sea fruto de uno o varios problemas de interés que han sido previamente planteados permite, entre otras cosas, que los alumnos puedan percibir una cierta lógica en la secuencia de los contenidos que conforman dicha unidad, así como una mayor motivación hacia el estudio de los mismos. Se trata, en definitiva, de estudiar la posibilidad de elaborar estructuras problematizadas de los temas. En los capítulos 9 y 10 de este proyecto se aborda específicamente este asunto.

### Referencias bibliográficas

- ALAMBIQUE. (1995). La resolución de problemas. Número monográfico (5) de la revista. Eds. Graó Educació. Barcelona.
- CARRASCOSA, J y MARTÍNEZ, S. (1997). *Problemas Física*. Editorial Santillana.
- CARRASCOSA, J., ALONSO, M., y MARTÍNEZ, S. (2013). *Física de 2º de Bachillerato*. Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (2013). *Física y Química de 1º de Bachillerato*. Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., APARICIO SANMARTÍN, J y DOMÍNGUEZ SALES, C. (2013). *Física y Química de 4º de ESO*. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- GARRETT R.M. (1987). Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9 (2), 125-137.
- GIL D, DUMAS-CARRE A, CAILLOT M y MARTINEZ TORREGROSA J. (1990). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.
- GIL D., MARTINEZ TORREGROSA, J., DUMAS-CARRE, A., RAMIREZ, L et al. (1992). La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: Elaboración de un modelo alternativo. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València. 6, 73-85.
- GIL PÉREZ, D; CARRASCOSA ALIS, J; FURIÓ MÁS, C; MARTÍNEZ TORREGROSA, J; (1991). *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. (Colección Cuadernos de Educación). Horsori. Barcelona.
- MALONEY, D.P. (1994). Research on problem solving: Physics. En Gabel D.L. (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New Cork: McMillan Pub Co.
- MARTÍNEZ AZNAR, M.M., e IBAÑEZ ORCAJO, M.T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 193-206.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J y SIFREDO, C. (2005). ¿Cómo convertir los problemas de papel y lápiz en auténticos desafíos de interés? Capítulo 5, pp 103-121, de *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Editado por OREALC-UNESCO. Santiago de Chile.  
<http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (1987). *La resolución de problemas de física como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral. Facultad de Físicas de la Universitat de València.
- OÑORBE,A., et al. (1993). *Resolución de problemas de Física y Química ESO. Una propuesta metodológica de enseñanza-aprendizaje*. Akal: Madrid. 143 págs.
- POLYA G. (1980), On solving mathematical problems in high school. En Krulik S y Reys R.E (Eds) *Problem solving in school mathematics* (Reston: Virginia)
- RAMÍREZ CASTRO, J.L. (1990). *La resolución de problemas de física y química como investigación, en la enseñanza media*. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- REIGOSA, C.E., y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 275-284.
- REYES J,V y FURIÓ C. (1990). O Modelo de Resoluçao de problemas como investigaçao. Sua aplicaçao a química. *Boletín da Sociedade Portuguesa de Química*. 41 (2). 11-16.
- REYES MARTÍN J,V., (1991). *La resolución de problemas de química como investigación. Una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco.
- VERDÚ CARBONELL, R. (2004). *La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.



## ANEXO . EJEMPLOS DE PROBLEMAS RESUELTOS COMO INVESTIGACIÓN

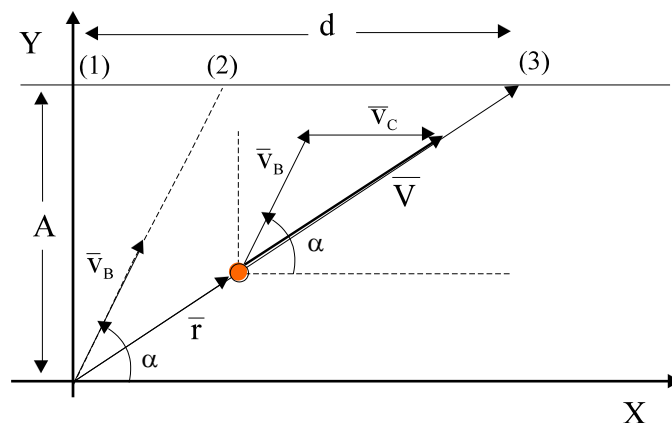
A continuación, se presentan varios problemas resueltos de acuerdo con las orientaciones que hemos tratado de fundamentar en este tema.

**1. Una barca que se desplaza a 6 m/s sale de la orilla de un río de 60 m de ancho en una dirección que forma un ángulo de 60° con dicha orilla (en el sentido en que se desplaza la corriente). Determinad a qué punto de la otra orilla llegará la barca suponiendo que la rapidez de la corriente sea constante y su valor 2 m/s.**



*Presentación de la situación problemática, discusión de su posible interés, precisión del problema y análisis cualitativo de la situación.*

En el esquema siguiente hemos representado la situación que plantea el problema. El punto (1) es al que llegaría la barca en caso de que no hubiese corriente y el ángulo  $\alpha$  valiese 90°. El punto (2) corresponde también al caso de que no hubiese corriente, pero con un ángulo de 60° (que es el rumbo que toma la barca). Sin embargo, como sí que existe corriente, la barca sufre una deriva en el rumbo inicial ya que a la velocidad de la barca  $\vec{v}_B$  hay que sumar la velocidad de la corriente  $\vec{v}_C$ , lo que hace que se dirija hacia el punto (3) de la otra orilla, con una velocidad resultante de  $\vec{v} = \vec{v}_B + \vec{v}_C$ .



El problema nos pide a qué punto de la otra orilla llegará la barca. Se trata de un problema que tiene un indudable interés en aquellas situaciones en las que hay que cruzar una extensión grande de agua y se desea conocer el rumbo para llegar a un punto determinado. Dicho punto puede determinarse mediante la distancia “d” existente entre los puntos (1) y (3). Para ello, simplificaremos el problema despreciando lo que ocurre en el instante inicial (salida de la barca) y final (llegada a la otra orilla) en los que habrá una cierta aceleración y consideraremos el movimiento como uniforme a lo largo de todo el trayecto.

*¿De qué factores dependerá el valor de la distancia d?*

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Podemos suponer que dicha distancia dependerá de la anchura  $A$  del río, del ángulo  $\alpha$ , de la velocidad  $\vec{v}_B$  de la barca y de la velocidad  $\vec{v}_C$  de la corriente, de manera que si, manteniendo constantes los restantes factores, aumentase, por ejemplo, la velocidad de la corriente,  $d$  también aumentaría y lo mismo ocurriría si aumentase la anchura del río o disminuyese el ángulo  $\alpha$ .

*Diseño de posibles estrategias de resolución.*

Si escogemos un sistema de coordenadas cartesianas como el que se representa en la figura anterior, cuyo origen coincida con la posición inicial de la barca, podemos darnos cuenta de que la distancia  $d$  coincidiría con la componente cartesiana  $r_x$  del vector de posición de la barca  $\vec{r} = (r_x, r_y)$  en el preciso instante en que ésta llegue a la otra orilla, es decir, cuando la componente  $r_y$  coincida con la anchura del río ( $r_y = A$ ). Por tanto, una forma de obtener  $d$ , sería determinar en primer lugar la ecuación del movimiento de la barca  $\vec{r} = \vec{r}(t)$  y a continuación tratar de calcular  $r_x$  en el instante en que  $r_y = A$ . La ecuación de movimiento puede determinarse integrando la función  $\vec{v} = \vec{v}(t)$ .

Otra posible forma de resolver el problema es mediante consideraciones geométricas.

*Resolución, análisis de los resultados, implicaciones y nuevas perspectivas.*

Resolveremos el problema según la primera estrategia. De acuerdo con la figura anterior, el vector velocidad resultante con que se mueve la barca puede expresarse como:

$$\vec{v} = (v_x, v_y) = (v_B \cos \alpha + v_C, v_B \sin \alpha).$$

Integrando en  $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$  (teniendo en cuenta que para  $t = 0$  s,  $\vec{r}_0 = 0$  y que  $\vec{v}$  es constante), nos queda que:

$\vec{r} = (r_x, r_y) = [(v_B \cos \alpha + v_C)t, v_B t \cdot \sin \alpha]$  que nos da el vector de posición de la barca en cualquier instante del tiempo que dura el trayecto. Descomponiendo ahora según los ejes:

$$r_x = (v_B \cos \alpha + v_C) t$$

$$r_y = v_B t \cdot \sin \alpha$$

Igualando  $r_y$  a la anchura del río  $A$ , obtenemos de la segunda expresión el tiempo  $t$  correspondiente al instante en que la barca llega a la otra orilla:  $t = \frac{A}{v_B \sin \alpha}$

Sustituyendo en la primera expresión obtenemos:

$$d = \frac{(v_B \cos \alpha + v_C) A}{v_B \sin \alpha}$$

Y operando se llega finalmente a  $d = 57,74$  m

*Analizad el resultado literal obtenido*

En primer lugar podemos comprobar que la expresión obtenida es dimensionalmente homogénea ya que en ambos lados de la igualdad las dimensiones son las de una longitud. Por otra parte, el resultado contempla algunos casos bien conocidos como, por ejemplo, que si el ángulo  $\alpha$  disminuyese la distancia  $d$  aumentaría tendiendo a  $\infty$  cuando  $\alpha$  tendiese a 0. También podemos constatar que si  $\alpha = 90^\circ$  y  $v_C = 0$ , se obtiene  $d = 0$ . Este último aspecto nos permite plantear una cuestión particularmente interesante desde el punto de vista práctico, consistente en determinar *cuánto debería valer  $\alpha$  para que la barca llegase justo enfrente de donde se halla inicialmente*:

Como la corriente del río desvía a la barca deberemos de tener en cuenta su efecto y tomar un ángulo mayor de  $90^\circ$ . En efecto, si llega justo enfrente se deberá de cumplir que la distancia  $d$  valga 0, luego haciendo  $d = 0$  en el resultado del problema, podemos despejar  $\alpha$  y obtener el ángulo pedido:

$$d = \frac{(v_B \cos \alpha + v_C) A}{v_B \sin \alpha} = 0 \rightarrow v_B \cos \alpha = -v_C \rightarrow \cos \alpha = \frac{-v_C}{v_B} \rightarrow \alpha = \arccos \frac{-v_C}{v_B} = 109'47^\circ$$

**2. Un jugador de rugby patea el balón y éste sale de su pie con rapidez de 18 m/s formando un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. Otro jugador que se encuentra a 40 m de distancia en la dirección del balón, corre en ese mismo instante a por él. ¿Cuál debe ser su rapidez, supuesta constante, para coger el balón justo antes de llegar al suelo?**



*1. Presentación de la situación problemática, discusión de su posible interés, precisión del problema y análisis cualitativo de la situación.*

Se trata de un problema en el que se da un enunciado ya concreto y con datos numéricos pero que sin duda plantea una situación relacionada con otros deportes en los que se utiliza un balón o una pelota a la que se puede lanzar oblicuamente, como, por ejemplo ocurre en golf, fútbol, etc. Otro interés es el lanzamiento de proyectiles. En este caso no es deporte precisamente lo que se practica y además nadie espera que el enemigo vaya corriendo a recoger el proyectil. No obstante, tanto el tiro oblicuo como el horizontal tuvieron un papel importante en el desarrollo de la mecánica, que se puede resaltar.

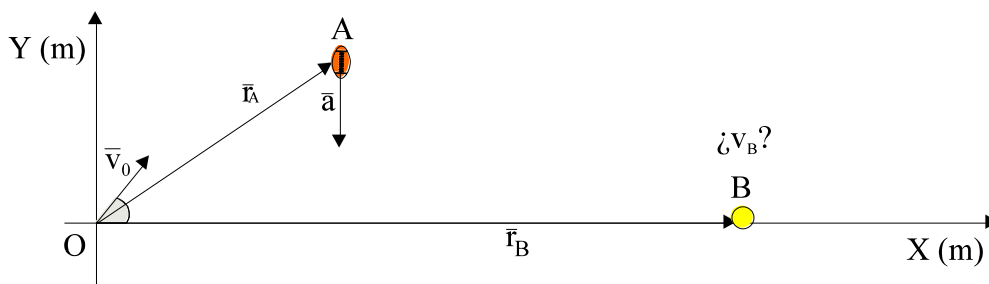
En el caso que se nos plantea, el móvil A, describe una trayectoria que, en principio es desconocida (aunque nuestras experiencias cotidianas nos hagan pensar que tendrá una forma parabólica, no sabemos cuál será concretamente). Durante su movimiento se ve

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

sometido a la aceleración de la gravedad. B tiene un movimiento rectilíneo y uniforme sobre el eje x, con el fin de coger el balón en el momento que llegue al suelo.

Para resolver el problema, conviene que utilicemos un sistema de referencia espacio-temporal común para los dos móviles, lo que nos lleva a aplicar un tratamiento vectorial para describir el movimiento de ambos.

Tomaremos como sistema de referencia espacial unos ejes de coordenadas cartesianas cuyo origen coincida con el punto desde donde se lanza el balón, tal y como se indica en el esquema siguiente y como origen de tiempos el instante en que sale el balón. Haremos la aproximación de considerar A (balón) y B (jugador contrario) como masas puntuales y la fricción con el aire nula.



Los datos para cada uno de los móviles son:

**Móvil A** (balón de rugby):  $\vec{a}_A = (0, -g) \text{ m/s}^2$ ;  $t_0 = 0$ ;  $\vec{v}_{0A} = (v_{0A} \cos \alpha, v_{0A} \sin \alpha) \text{ m/s}$   
 $\vec{r}_{0A} = (0, 0) \text{ m}$ .

**Móvil B** (jugador contrario):  $\vec{a}_B = (0, 0)$ ;  $t_0 = 0$ ;  $\vec{v}_B = (v_B, 0) \text{ m/s}$ ;  $\vec{r}_{0B} = (x_{0B}, 0) = (40, 0) \text{ m}$ .  
 Donde  $v_B$  es la incógnita a determinar.

Cabe esperar que, en las condiciones que se han considerado, la rapidez  $v_B$  dependa de alguna manera de la rapidez inicial  $v_{0A}$  con que se lanza el balón, del ángulo  $\alpha$  con que se lance, de la distancia inicial  $x_{0B}$  existente entre ambos jugadores, y de la aceleración de la gravedad  $g$ . Es decir:  $v_B = v_B(v_{0A}, \alpha, x_{0B}, g)$ .

De acuerdo con la situación planteada, no estamos seguros de qué haría el jugador B, podría ser que tuviera que correr hacia la derecha, quedarse en donde está o correr hacia la izquierda, dependiendo del alcance máximo del balón. Así, por ejemplo, si B se moviera hacia la derecha, podemos pensar que, a igualdad de los restantes factores,  $v_B$  será tanto mayor cuanto mayor sea  $v_{0A}$  y menor  $x_{0B}$ . Además, debería tomar un valor máximo para  $\alpha = 45^\circ$  (ya que para este valor el alcance es máximo), por lo que debería correr más rápido para alcanzar a recoger el balón antes de que éste llegase al suelo.

#### 2. Diseño de posibles estrategias de resolución

Con los datos anteriores podemos determinar las ecuaciones  $\vec{v} = \vec{v}(t)$  y  $\vec{r} = \vec{r}(t)$  para cada móvil, integrando a partir de la aceleración. Mediante dichas ecuaciones podremos conocer fácilmente la velocidad o la posición de cada uno de ellos en cualquier instante. Posteriormente, podríamos resolver el problema considerando que en el momento en

que B recoja el balón, la posición de ambos móviles (que consideramos como masas puntuales) habrá de ser la misma.

### 3. Resolución, análisis de los resultados, implicaciones y nuevas perspectivas.

#### Ecuaciones de movimiento para el móvil A:

A partir del vector aceleración :

$$\vec{a}_A = \frac{d\vec{v}_A}{dt} \rightarrow d\vec{v}_A = \vec{a}_A \cdot dt \rightarrow \int_{\vec{v}_{0A}}^{\vec{v}_A} d\vec{v}_A = \int_0^t (0, -g) dt . \text{ Resolviendo estas integrales:}$$

$$\vec{v}_A = (v_{0A} \cos \alpha, v_{0A} \sin \alpha) + (0, -g t) \rightarrow \vec{v}_A = (v_{0A} \cos \alpha, v_{0A} \sin \alpha - g t)$$

A partir del vector velocidad:

$$\vec{v}_A = \frac{d\vec{r}_A}{dt} \rightarrow d\vec{r}_A = \vec{v}_A \cdot dt \rightarrow \int_0^{\vec{r}_A} d\vec{r}_A = \int_0^t \vec{v}_A \cdot dt$$

$$\vec{r}_A = \int_0^t (v_{0A} \cos \alpha, v_{0A} \sin \alpha - g t) dt \rightarrow \vec{r}_A = (v_{0A} \cos \alpha \cdot t, v_{0A} \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2)$$

#### Ecuaciones de movimiento para el móvil B:

Dado que se mueve con movimiento uniforme sobre el eje X tendremos que:

$$\vec{v}_B = (v_B, 0) \text{ m/s y el vector de posición: } \vec{r}_B = (x_{0B} + v_B t, 0)$$

En las ecuaciones anteriores  $v_B$  es la incógnita y por eso no le hemos puesto signo. Además, no sabemos “a priori” en qué sentido se ha de mover B para recoger la pelota.

*¿Qué podemos hacer ahora para calcular con qué rapidez  $v_B$  se debería de mover B para coger el balón justo cuando llegue al suelo?*

En el momento en que A y B se encuentren, los vectores de posición de ambos móviles serán los mismos (tengamos en cuenta que hemos escogido un único sistema de referencia posición-tiempo). Si designamos como  $t_1$  a ese instante, e igualamos las coordenadas correspondientes, podremos obtener  $v_B$  :

En el momento del encuentro:  $x_A = x_B \rightarrow v_{0A} \cos \alpha \cdot t_1 = x_{0B} + v_B \cdot t_1$  Despejando  $v_B$  obtenemos que:  $v_B = \frac{v_{0A} \cos \alpha \cdot t_1 - x_{0B}}{t_1}$ , con lo que para determinar  $v_B$  *necesitamos saber  $t_1$  o instante en que el balón llega al suelo.*

Como en el instante en que el balón toca el suelo, su ordenada y vale 0, podemos igualar a 0 la expresión general de dicha ordenada y despejar  $t_1$ , con lo que:

$v_{0A} \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = 0$  de donde obtenemos que  $t_1 = \frac{2v_{0A} \sin \alpha}{g}$  y sustituyendo este valor en la expresión de  $v_B$  anterior nos queda finalmente:

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

$$v_B = v_{0A} \cos \alpha - \frac{x_{0B} \cdot g}{2v_{0A} \sin \alpha}$$

La expresión obtenida nos sirve para calcular, en las condiciones que se dan en el enunciado del problema, qué velocidad constante deberá llevar el jugador del equipo contrario para recoger la pelota cuando llegue al suelo.

*Analizad el resultado obtenido. Reflexionad, en particular, sobre el significado de que  $v_B$  pueda ser negativa, nula o positiva*

En primer lugar, podemos darnos cuenta de que la ecuación es dimensionalmente homogénea y que en ambos lados del signo igual tenemos L/T.

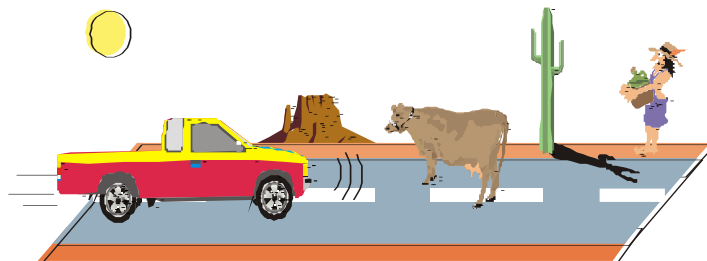
En segundo lugar, como el resultado es una resta de dos términos, si sale un número negativo implica que la única componente escalar del vector  $\vec{v}_B$  es negativa y por tanto el jugador se mueve hacia la izquierda porque el alcance del balón será inferior a la distancia inicial que separa a los dos jugadores. Si la resta es 0, quiere decir que el jugador no se mueve y que, por tanto el balón va a caer justo donde él se encuentra y finalmente, si la resta es positiva, quiere decir que el jugador se dirige hacia la derecha, porque el alcance del balón es superior a la distancia que le separa del punto de lanzamiento. Sustituyendo los datos numéricos, podremos saber en cuál de los tres casos nos encontramos:

$$v_B = v_{0A} \cos \alpha - \frac{x_{0B} \cdot g}{2v_{0A} \sin \alpha} = 18 \cos 30^\circ - \frac{40 \cdot 10}{2 \cdot 18 \cdot \sin 30^\circ} = -6'61 \text{ m/s}$$

Por tanto, el balón no sobrepasará al jugador contrario y éste ha de correr hacia la izquierda con  $\vec{v}_B = (-6'61, 0) \text{ m/s}$  para alcanzarlo en el momento en que llegue al suelo.

**3. Sobre un vehículo de 1000 kg de masa que se desplaza con una rapidez de 108 km/h, actúa una fuerza de frenado de 7500 N**

**¿Qué distancia recorrerá hasta pararse?**

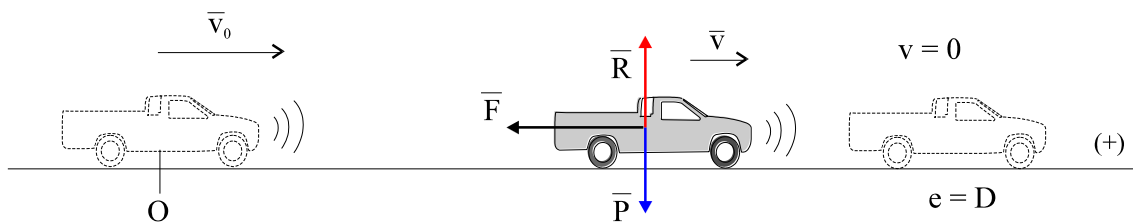


*Considerar cuál puede ser el interés de la situación problemática abordada*

El cálculo de la distancia que recorre un móvil hasta pararse tiene un indudable interés, por ejemplo, en el aterrizaje de aviones o en el tráfico de vehículos en general (por carretera y ciudad), en donde interesa asegurar una distancia mínima de frenada para evitar accidentes, lo que lleva a limitar la velocidad máxima, guardar una cierta distancia entre vehículos, perfeccionar los sistemas de frenado, etc.

*Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, etc.*

En este problema un móvil lleva una cierta velocidad inicial y frena hasta que se para, pidiéndonos la distancia que recorre durante este proceso. Las fuerzas que actúan sobre el móvil son tres: el peso  $\vec{P}$ , la fuerza normal  $\vec{R}$  ejercida por la carretera y la fuerza  $\vec{F}$  de frenado. Las dos primeras son perpendiculares a la trayectoria y se anulan entre ellas, mientras que  $\vec{F}$  es tangente. Para simplificar el problema, supondremos que la fuerza de frenado es constante, de modo que el movimiento será rectilíneo y uniformemente acelerado. Como la fuerza de frenado tiene sentido contrario al movimiento, la rapidez inicial del móvil irá disminuyendo linealmente desde  $v_0$  hasta 0. En términos de trabajo y energía se podría describir diciendo que el trabajo realizado por la fuerza de frenado tiene como efecto disminuir la energía cinética hasta hacerla igual a 0.



La figura anterior representa un esquema de la situación, en donde podemos ver el punto que se toma como origen de espacios, las fuerzas que se ejercen sobre el móvil y cómo la velocidad del mismo se va haciendo cada vez más pequeña hasta que finalmente el móvil se para.

En el problema se nos pide la distancia  $D$  que recorre el móvil desde que comienza a frenar hasta que se para, lo cual, si tomamos como origen de espacios el punto  $O$  de la figura y como sentido positivo el del movimiento, equivale a determinar el valor de “ $e$ ” en el instante en que la rapidez valga 0. En términos de trabajo y energía dicha distancia coincidirá con el módulo del desplazamiento experimentado por el móvil desde que comienza a frenar hasta que se para.

*Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.*

En el ejemplo que nos ocupa, podemos pensar que la distancia  $D$ , va a depender de la rapidez a la que vaya el móvil en el momento que empiece a frenar, de modo que (a igualdad de los restantes factores) cuanto mayor sea ésta, más grande será la distancia que recorrerá hasta pararse. Otro factor que ha de influir es la fuerza resultante de frenado que actúe sobre el vehículo. Parece evidente, que cuanto mayor sea dicha fuerza menor distancia precisará para pararse (siempre a igualdad del resto de los factores). También podemos pensar en la influencia de la masa. Algunas personas creen que si tiene una masa muy grande se parará antes, pero si reflexionamos un poco nos daremos cuenta que sería al contrario, ya que, por ejemplo, cuesta más parar un camión que vaya a 100 km/h que una motocicleta a la misma velocidad, por tanto, cuanto mayor masa tenga, más distancia precisará para parar. (En ocasiones se señala también el tiempo que dure la frenada, sin embargo este factor

4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

está implícito ya en los factores enunciados). Así pues, la distancia recorrida hasta pararse podrá expresarse en función de las magnitudes citadas:

$$D = D(v_0, m, F)$$

Las magnitudes anteriores ( $v_0$ ,  $m$ ,  $F$ ) constituyen, de hecho, los datos que se suministran en el enunciado del problema. Además de aventurar la forma en que cabe esperar que influyan en  $D$ , podemos considerar alguna condición límite, como por ejemplo, que si la fuerza resultante de frenado fuese nula no se pararía, es decir,  $D$  sería infinita o que si  $v_0 = 0$ ,  $D$  tendrá que valer 0 (ya estaría parado).

*Elaborad y explicitad posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscad distintas vías de resolución, para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.*

Una posible estrategia de resolución es utilizar las ecuaciones cinemáticas y dinámicas correspondientes al movimiento del vehículo:

Al ser la trayectoria fija y conocida podemos realizar un tratamiento escalar para resolver el problema. Si escogemos como origen de espacios el punto donde comienza a frenar, origen de tiempos el instante en que lo hace y sentido positivo el del movimiento, tendremos:

Aceleración tangencial del móvil (constante):	$a = -F/m$	(1)
Rapidez del móvil en cualquier instante $t$ del movimiento:	$v = v_0 + a t$	(2)
Posición del móvil en cualquier instante $t$ del movimiento:	$e = e_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2}$	(3)

La determinación de la distancia  $D$  ( $e$  en el instante en que  $v = 0$ ) podríamos efectuarla mediante la ecuación del movimiento (3), si supiésemos el instante  $t$  en que el móvil se para. Éste último lo podemos hallar fácilmente haciendo  $v = 0$  en la ecuación (2) y despejando  $t$ . Para ello hemos de calcular previamente la aceleración mediante la ecuación (1).

Otra posibilidad es utilizar la ecuación que nos relaciona el trabajo realizado por la fuerza resultante a lo largo del desplazamiento que abarca el frenado, con la variación de energía cinética (teniendo en cuenta que la energía cinética final será 0) y despejar el módulo del desplazamiento, que en este caso coincide con la distancia recorrida  $D$ .

*Realizad la resolución propiamente dicha.*

De las estrategias expuestas vamos a desarrollar la segunda (basada en consideraciones de trabajo y energía), designando como estado A el que corresponde a la situación del móvil cuando empieza a frenar ( $v_A = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$ ), y como B cuando se para (su velocidad se hace 0).

La ecuación que relaciona el trabajo realizado por la fuerza resultante con la variación de energía cinética es:



$$W_{\text{res A}}^{\text{B}} = \Delta E_{\text{c A}}^{\text{B}} = E_{\text{c B}} - E_{\text{c A}} = \frac{1}{2} m v_{\text{B}}^2 - \frac{1}{2} m v_{\text{A}}^2$$

En nuestro caso, la fuerza resultante es la de frenado  $\vec{F}$  (tangente a la trayectoria), que siempre tiene sentido contrario al movimiento, la energía cinética en la situación B es 0 (se para) y el módulo del desplazamiento coincide con la distancia recorrida D. Introduciendo estas condiciones en la ecuación anterior:

$$-F \cdot D = -\frac{1}{2} m v_{\text{A}}^2 \quad \text{y despejando D obtenemos: } D = \frac{m v_{\text{A}}^2}{2F}$$

Ahora, basta sustituir los datos numéricos y operar para obtener  $D = \frac{1000 \cdot 900}{15.000} = 60 \text{ m}$

*Analizad cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.*

Si analizamos el resultado del problema que estamos resolviendo, podemos darnos cuenta en primer lugar que el valor numérico obtenido (60 m) parece normal (está de acuerdo con nuestras experiencias cuando frena un automóvil). Si hubiese sido, por ejemplo, 0,6 m o 6000 m habría que dudar y revisar el problema.

Si nos detenemos en el resultado literal:  $D = \frac{m v_{\text{A}}^2}{2F}$

podemos ver que la ecuación es dimensionalmente homogénea (dimensiones de una longitud a ambos lados de la igualdad). Ello no es garantía de que el ejercicio esté bien resuelto, pero si no se diese dicha homogeneidad sí que sería indicativo de alguna equivocación. Por otra parte, en el resultado se contemplan las hipótesis de partida y es fácil ver que cuando la masa y/o la rapidez inicial aumentan (para una cierta fuerza de frenado), la distancia D necesaria para pararse también aumenta (necesidad de limitar la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos, especialmente los de gran tonelaje), que si la fuerza F aumenta (manteniendo fijas la masa y rapidez inicial) D disminuirá (conveniencia de diseñar sistemas de frenada apropiados) o que si  $v_{\text{A}} = 0$ , la distancia  $D = 0$ , etc.

Además, dicho resultado nos permite aprender que, en contra de lo que piensan algunas personas, si la rapidez inicial con que se mueve un vehículo se duplica, la distancia que recorre hasta pararse no se hace también el doble sino **4 veces mayor**, ya que la rapidez inicial está elevada al cuadrado, es decir, es la variable que más influye.

Finalmente, si queremos, podemos resolver el problema mediante la otra estrategia (basada en un tratamiento puramente cinemático-dinámico) y comprobar que el resultado es el mismo.

*Considerar las perspectivas abiertas por la investigación realizada contemplando, por ejemplo, el interés de abordar la situación a un nivel de mayor complejidad o considerando sus implicaciones teóricas (profundización en la comprensión de algún concepto) o prácticas (posibilidad de aplicaciones técnicas). Concebir, muy en particular, nuevas situaciones a investigar, sugeridas por el estudio realizado.*

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Al igual que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser origen de nuevos problemas. Sería conveniente que los estudiantes (y los profesores) llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas, poniendo en juego de nuevo su creatividad.

En el caso que estamos considerando, podemos plantearnos, a la luz del resultado obtenido, nuevos problemas de interés práctico, como por ejemplo, *qué fuerza se ejerce sobre un coche en un choque frontal contra un obstáculo*.

Para determinarla basta con despejar  $F$  en la ecuación anterior, teniendo en cuenta que si el obstáculo es fijo y grande (por ejemplo un muro) la distancia recorrida se reduce a lo que da de sí la carrocería del vehículo. Así si suponemos  $D = 2$  m, la fuerza sería:

$$F = \frac{mv_A^2}{2D} = \frac{1000 \cdot 900}{4} = 225000 \text{ N}$$

La fuerza ejercida sobre el coche resulta ser casi igual que el peso de 23000 kg, lo que permite comprender las consecuencias fatales de un choque frontal a esa velocidad. El problema se agrava cuando en lugar de ser contra un muro es contra otro vehículo que va en sentido contrario (en cuyo caso  $v_A$  sería la suma de los módulos de ambas velocidades).

Otra cuestión interesante es *qué es lo que ocurre cuando un vehículo frena tan intensamente que bloquea las ruedas impidiendo el giro de éstas*.

En la nueva situación planteada, la fuerza resultante de frenado será la fuerza de rozamiento máxima por deslizamiento entre las ruedas y la carretera, cuyo módulo viene dado por la expresión:  $F_{\text{roz}} = \mu \cdot N$  siendo  $N$  el módulo de la componente normal de la fuerza que el vehículo ejerce sobre la carretera (cuyo valor, en este caso, coincide con el del peso,  $mg$ ).

Sustituyendo  $F$  por  $F_{\text{roz}} = \mu \cdot mg$ , el resultado se convierte en:

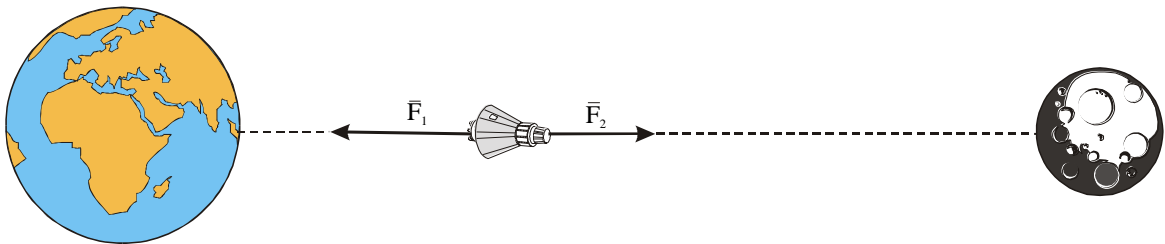
$$D = \frac{mv_A^2}{2F} = \frac{mv_A^2}{2\mu F} = \frac{v_A^2}{2\mu F}$$

Este último resultado nos muestra que ningún vehículo puede frenar y parar en el acto, sino que siempre recorrerá una cierta distancia, tanto más grande cuanto menor sea el coeficiente de rozamiento con el suelo y mayor sea la velocidad a la que vaya (de ahí el peligro que representa conducir a gran velocidad sobre un pavimento mojado o con placas de hielo). Por otra parte, nos remite a la necesidad de que entre los vehículos se respete una distancia mínima de seguridad (que hay que calcular en función de la rapidez máxima permitida, el coeficiente de rozamiento y el tiempo que tarda un conductor en reaccionar ante la vista de un obstáculo) y de incorporar sistemas de frenado que impidan el bloqueo de las ruedas. Además es necesario tener en cuenta que lo que es verdaderamente limitante no es la fuerza con que se pueda frenar sino la velocidad a la que se circula, ya que si ésta es muy grande, el hecho de parar en muy poca distancia podría matar al conductor por la enorme aceleración a la que se vería sometido.

#### 4. ¿En qué punto de la recta que pasa por dos astros la intensidad del campo gravitatorio resultante es 0?

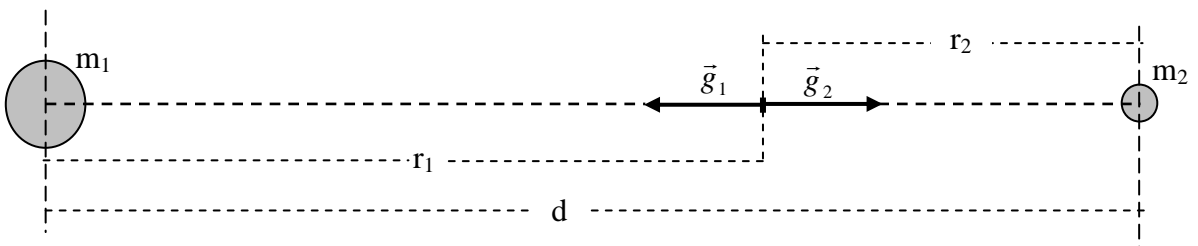
*Presentación de la situación problemática, discusión de su posible interés, precisión del problema y análisis cualitativo de la situación.*

Supongamos un sistema formado por dos astros como, por ejemplo, la Tierra y la Luna, separados entre sí por una cierta distancia. Si una nave se dirige hacia la Luna siguiendo la recta que pasa por ambos astros, resultará del mayor interés conocer en qué punto del trayecto, la fuerza gravitatoria resultante que el sistema ejerce sobre la nave, deja de oponerse a su movimiento y comienza a favorecerlo (análogamente cuando se dirige de la Luna hacia la Tierra). Es evidente que ello se producirá a partir del punto en el que la intensidad del campo gravitatorio sea 0 y que dicho punto deberá estar situado entre ambos astros para que los vectores intensidad tengan sentidos contrarios y que su suma pueda valer 0.



El problema planteado tiene que ver, pues, con algo más general, cómo es el aprovechamiento de los campos gravitatorios en el movimiento de naves y sondas espaciales.

Nos vamos a centrar en el caso de dos astros de masas  $m_1$  y  $m_2$  separados por una gran distancia “ $d$ ” tal que ambos se puedan considerar como masas puntuales y vamos a calcular a qué distancia  $r_1$  de  $m_1$  el campo gravitatorio de dicho sistema es nulo.



#### *Posibles estrategias de resolución*

Cabe pensar que  $r_1$  dependa de la distancia  $d$ , así como de los valores de  $m_1$  y de  $m_2$ , de tal forma que: cuanto mayor sea  $m_1$  y menor sea  $m_2$  tanto mayor será  $r_1$ ; cuanto mayor sea  $d$ , mayor será también  $r_1$ . También podemos pensar en algún caso límite o evidente como, por ejemplo: que si  $m_2$  tiende a 0,  $r_1$  tenderá a  $d$ ; o que si las dos masas son iguales,  $r_1 = d/2$ , etc.

Sabemos que en el caso del campo gravitatorio creado por una masa  $m$  puntual (o que pueda considerarse como tal), la intensidad del campo en un punto del mismo es una magnitud vectorial cuyo módulo viene dado por  $g = Gm/r^2$ .

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

En nuestro caso, la intensidad del campo gravitatorio será  $\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2$ . Para que la suma de dos vectores que tienen la misma dirección y sentidos contrarios valga 0, es necesario que sus módulos sean iguales. Por tanto una forma de resolver el problema podría ser igualar  $g_1$  con  $g_2$  y a partir de la ecuación obtenida hallar  $r_1$ .

Otra posible estrategia puede ser obtener la expresión del potencial como  $V = V_1 + V_2$ . Dado que la intensidad  $g = -dV/dr$  y que queremos hallar en qué punto  $g = 0$ , bastará con derivar la expresión de  $V$  respecto de  $r$ , igualar a 0 y, finalmente, hallar  $r_1$  a partir de la ecuación obtenida.

*Resolución, análisis de los resultados, implicaciones y nuevas perspectivas.*

Siguiendo la primera de las estrategias enunciadas:

$$g_1 = g_2 \rightarrow \frac{Gm_1}{r_1^2} = \frac{Gm_2}{r_2^2} \rightarrow \frac{m_1}{r_1^2} = \frac{m_2}{r_2^2} \text{ y teniendo como } r_2 = d - r_1, \text{ nos queda que:}$$

$$\frac{m_1}{r_1^2} = \frac{m_2}{(d - r_1)^2}$$

De la expresión anterior es fácil obtener que:

$$r_1 = \frac{d}{1 + \sqrt{m_2 / m_1}}$$

A partir de ese punto (suponiendo el caso de la figura anterior), la fuerza con que  $m_2$  atraería a cualquier objeto de masa  $m$  sería mayor que la fuerza con que ese mismo objeto sería atraído por  $m_1$  (recordemos que  $F = mg$ ). El resultado se puede cuantificar sin más que sustituir por valores reales. Por ejemplo,  $m_1$  podría ser la Tierra y  $m_2$  la Luna. En el caso de la Tierra y la Luna, sabiendo que la masa de la primera es unas 81 veces la de la segunda y que la distancia media entre ambos astros es de 384000 km, nos quedaría que:  $r_1 = 345600$  km del centro de la Tierra.

Si nos fijamos en el resultado final obtenido podemos ver en primer lugar que es dimensionalmente homogéneo (L en ambos miembros). También que se cumplen nuestras hipótesis de partida ya que, por ejemplo: si  $m_1$  aumenta,  $r_1$  también aumenta; si  $m_2$  tiende a 0,  $r_1$  tiende a  $d$ ; si  $m_1 = m_2$ ,  $r_1 = d/2$ , etc.

Una vez resuelto este problema podemos plantearnos nuevas interrogantes como, por ejemplo, qué hacer en el caso de sistemas con más de dos astros o cómo aprovechar el campo gravitatorio de distintos planetas cuando queremos enviar una sonda espacial a la periferia de nuestro sistema solar, etc.

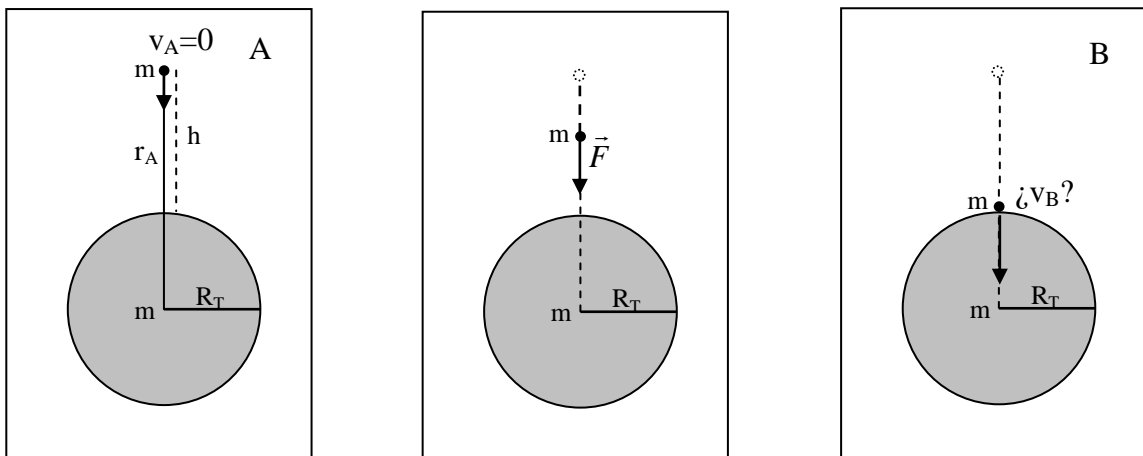
#### **5. Se deja caer un cuerpo desde una gran altura. ¿Cuál será su rapidez en el instante en que choque contra el suelo?**

*Presentación de la situación problemática, discusión de su posible interés, precisión del problema y análisis cualitativo de la situación.*

Vamos a manejar el sistema formado por un cuerpo de masa  $m$  (considerado puntual) y la Tierra (a la que consideraremos inmóvil). Supondremos que el cuerpo se halla a una

altura inicial  $h$  lo bastante grande como para que **no** se pueda considerar constante a la aceleración de la gravedad.

En cuanto lo soltemos, el cuerpo caerá sometido a la acción de la fuerza gravitatoria ejercida por la Tierra. Como dicha fuerza siempre va dirigida hacia el centro del planeta, el cuerpo tendrá un movimiento rectilíneo hacia el centro de la Tierra, aumentando su velocidad respecto de la Tierra (aunque no de manera uniforme ya que  $F$  no es constante sino que va aumentando conforme el cuerpo se acerca a la Tierra). Se trata pues de un movimiento variado y, como consecuencia, la determinación cinemático-dinámica de la rapidez al llegar al suelo, no es una tarea sencilla).



Cabe esperar que la rapidez  $v$  con la que choca, para una masa y un radio de la Tierra que tienen unos valores dados, dependerá de la altura inicial  $h$  desde la que lo soltamos, de modo que  $v$  aumentará cuanto mayor sea el valor de  $h$ . Es evidente que si la  $h$  valiese 0 la  $v$  sería 0. Además, en el caso de que la altura fuese lo bastante pequeña como para que pudiésemos considerar constante la aceleración de la gravedad, el objeto llevaría un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y la rapidez valdría:  $v = \sqrt{2g_0h}$  en donde  $g_0$  tendría el valor de la aceleración de la gravedad al nivel del mar ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Se trata de un problema que tiene un indudable interés práctico en el tema de lanzamiento de satélites, proyectiles, e incluso el posible impacto de meteoritos.

#### *Posibles estrategias de resolución*

En el sistema considerado no hay fuerzas exteriores y, por tanto, el trabajo exterior es 0. Además, por tratarse de una masa puntual no se produce calor.

Dado que el trabajo exterior es 0, y no hay calentamiento, podemos concluir que, aunque cambie la energía cinética y la energía potencial del sistema, la suma de ambas (energía mecánica) permanecerá constante. Por tanto, una forma sencilla de obtener la rapidez pedida sería aplicar la expresión  $W_{\text{ext}} = \Delta E$  (donde  $E = E_c + E_p$ ), tomando como estado inicial (A) del sistema cuando se suelta el cuerpo y como estado final (B) la situación del sistema en el momento en que el cuerpo impacta contra el suelo.

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Otra posibilidad sería aplicar al cuerpo el teorema de las fuerzas vivas  $W_{\text{res}} = \Delta E_c$  en donde la fuerza resultante sobre el cuerpo sería la fuerza gravitatoria con que la Tierra lo atrae (cuyo valor iría cambiando con la distancia  $r$  al centro de la Tierra).

*Resolución, análisis de los resultados, implicaciones y nuevas perspectivas.*

Siguiendo la primera estrategia y llamando  $m_T$  y  $R_T$  a la masa y radio de la Tierra respectivamente:

$W_{\text{ext}} = \Delta E$ ; como  $W_{\text{ext}} = 0 \rightarrow \Delta E = 0 \rightarrow \Delta E_c + \Delta E_p = 0$  y sustituyendo:

$$\left(\frac{1}{2}mv_B^2 - 0\right) + \left(-\frac{Gm_T m}{R_T} + \frac{Gm_T m}{r_A}\right) = 0 \rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2Gm_T h}{r_A \cdot R_T}}$$

Teniendo en cuenta que  $Gm_T = g_0 \cdot R_T^2$  y que  $r_A = R_T + h$ :  $v_B = \sqrt{\frac{2g_0 R_T \cdot h}{R_T + h}}$ .

Dividiendo arriba y abajo por  $h$  obtenemos:

$$v_B = \sqrt{\frac{2g_0 R_T}{(R_T/h) + 1}}$$

Tras esta resolución literal, podemos sustituir los datos numéricos que nos den y obtener el valor de la rapidez que se demanda. Así, por ejemplo, para una altura igual al radio de la Tierra (6370 km) y suponiendo conocido  $g_0$ , se obtendría  $v_B = 7905'0$  m/s

Si nos fijamos en la última expresión obtenida, podemos ver en primer lugar que es dimensionalmente homogénea (L/T en ambos miembros); si no lo fuese es seguro que el resultado sería incorrecto. Por otra parte, tal y como habíamos supuesto, cuanto mayor sea el valor de  $h$ , mayor es el valor de la rapidez con que el cuerpo choca contra el suelo.

En cuanto a los casos límite considerados, es evidente que si  $h = 0$  la  $v_B = 0$ . Además si  $h$  es muy pequeño frente a  $R$ , podemos despreciar el 1 del denominador frente a  $R/h$  con lo que nos quedaría:

$$v_B = \sqrt{\frac{2g_0 R_T}{(R_T/h)}} = \sqrt{2g_0 \cdot h}$$

que es, precisamente, el resultado obtenido cuando se puede hacer la simplificación de suponer que el movimiento de caída es un movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado.

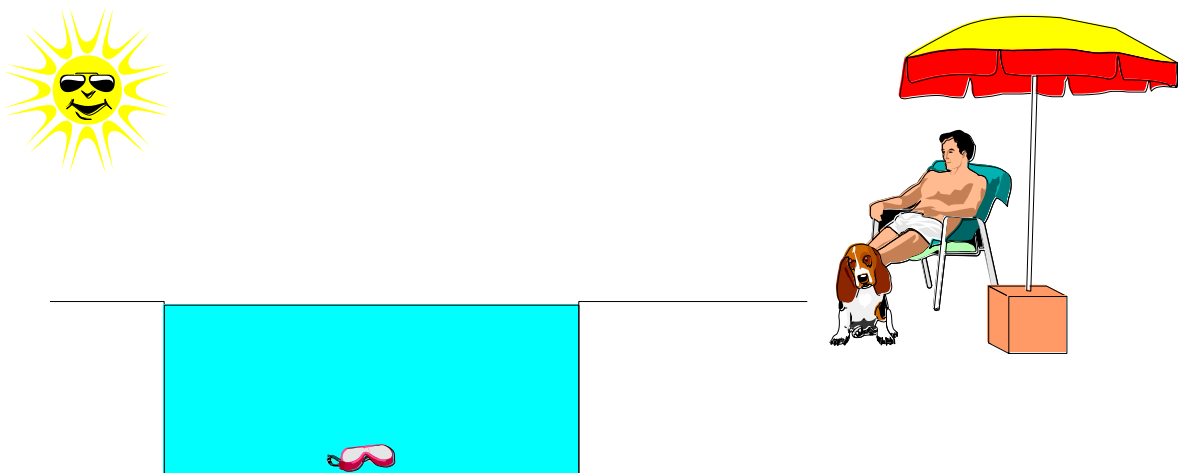
El resultado obtenido también nos permite percatarnos de algo que al principio no sabíamos. En principio, cabe pensar que cuanto más lejos de la Tierra se “deje caer” al cuerpo, mayor será la rapidez con que impactará contra el suelo. Ahora bien: *¿se trata de un proceso que no tiene ningún límite?* En otras palabras: *¿la rapidez del impacto crece indefinidamente con la distancia  $h$ ?*

El resultado literal obtenido nos permite contestar a esta importante cuestión ya que resulta evidente que cuando  $h \rightarrow \infty$ , la  $v_B \rightarrow \sqrt{2g_0 R_T}$ , de modo que, si suponemos  $R_T = 6370$

km, obtenemos que la máxima rapidez de impacto (partiendo del reposo), resulta ser de unos  $11'2 \text{ km/s}$  ( $40320 \text{ km/h}$ ).

Naturalmente los resultados y conclusiones a que hemos llegado solo son válidos para las condiciones que hemos considerado imperantes en el problema (el objeto parte del reposo hacia la Tierra inmóvil y no incluimos el rozamiento), con lo que el problema podría proseguir cambiando alguna de estas condiciones y viendo cómo eso afecta al resultado. También es posible proponer el problema inverso: *¿Con qué velocidad debería lanzarse un objeto desde la superficie terrestre para que no regresara a ella?*

**6. Determinad cuál será la máxima profundidad que puede tener una piscina completamente llena de agua, para que una persona sentada a  $3'3 \text{ m}$  del borde y cuya vista queda a una altura de  $1'2 \text{ m}$  sobre el suelo, pueda ver un objeto que se encuentra en el fondo y al centro de la piscina. (Anchura de la piscina  $15 \text{ m}$ . Índice de refracción del agua  $1'33$ )**

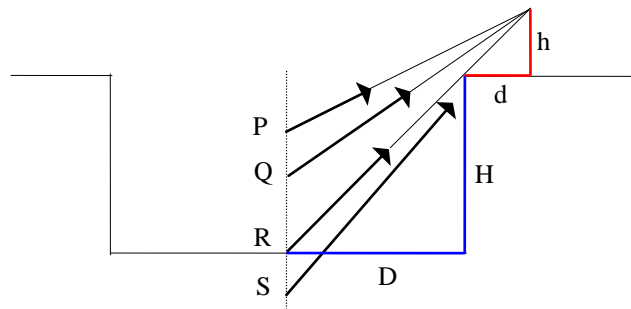


El objeto situado en el fondo refleja la luz en todas direcciones y esto podemos representarlo mediante rayos o líneas rectas que parten del mismo y solo si alguno de dichos rayos alcanza al ojo de la persona, ésta podrá ver el objeto. Por otra parte, como los rayos parten de un objeto sumergido en el agua, experimentarán una refracción desviándose de la normal, por lo que este hecho alterará las condiciones necesarias para la observación del objeto desde la superficie. (De hecho, el propio suelo de la piscina actúa como un objeto y como el índice de refracción del aire es menor que el del agua, el fenómeno de la refracción hace que nos parezca que éste se encuentra a menor profundidad de lo que realmente está, con el consiguiente peligro de confusión en personas que no saben nadar).

En este problema se nos pide la máxima profundidad que podría tener la piscina para que pudiera verse un objeto situado en su fondo, en determinadas condiciones. Conviene que analicemos el problema y reflexionemos en primer lugar sobre lo que ocurriría en una situación más sencilla que la planteada como sería el caso de que la piscina se encontrara totalmente vacía.

#### 4. El problema de los problemas

En el caso propuesto los rayos que salen del objeto no se desviarían. Podemos representar la situación mediante la figura adjunta en la que se observa que desde la posición P hasta la R se vería el objeto, pero en la posición S ya no se vería.



Cabe pensar que cuanto mayor sea la altura  $h$  desde la que se observa, mayor será la profundidad máxima  $H$  a la que sería posible ver el objeto (y que si  $h$  fuese 0 la profundidad  $H$  también lo sería). Por otra parte, cuanto mayor fuese la distancia  $d$  menor sería  $H$ , ya que al alejarnos del borde el rayo debería inclinarse más para llegar a nuestros ojos, de modo que para cuando  $d$  tienda a infinito  $H$  tenderá a 0 y viceversa. Finalmente, cuanto mayor sea la distancia  $D$  del objeto a la pared de la piscina, mayor podrá ser  $H$ .

Así pues:  $H = H(h, D, d)$ , que son datos presentes en el enunciado del problema.

*¿Cómo podríamos hallar  $H$ ?*

Si nos fijamos en la figura anterior podemos darnos cuenta que los dos triángulos que se forman son semejantes y aplicar las relaciones de proporcionalidad entre sus lados para obtener la  $H$  buscada.

En efecto, la semejanza de triángulos nos permite escribir que:

$$\frac{H}{D} = \frac{h}{d} \text{ de modo que despejando } H \text{ obtenemos que: } H = \frac{h \cdot D}{d} = \frac{1'2 \cdot 7'5}{3'3} = 2'73 \text{ m}$$

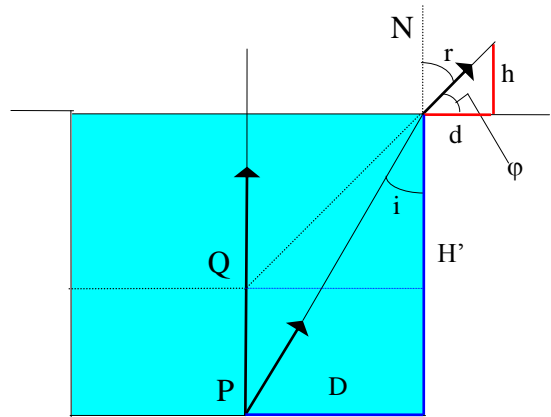
El resultado obtenido no solo es dimensionalmente homogéneo (L en ambos lados de la igualdad) sino que además contempla todas las hipótesis enunciadas anteriormente.

Podemos ahora ir más allá y plantearnos qué es lo que ocurrirá cuando la piscina se llene completamente de agua.

Ya hemos visto al comienzo que los rayos al pasar del agua al aire se refractan alejándose de la normal, por lo que podrán llegar al ojo del observador rayos desde puntos situados a mayor profundidad (como, por ejemplo el punto S de la figura anterior). No obstante, también aquí habrá una profundidad máxima  $H' > H$  a partir de la cual ya no se verá el objeto (que es precisamente la que nos piden en el problema).



Dicha profundidad máxima dependerá de los mismos factores  $h$ ,  $d$  y  $D$  que antes, pero además influirá la diferencia en los índices de refracción entre los medios 1 (agua) y 2 (aire), de modo que, de acuerdo con la ley de la refracción ( $n_1 \cdot \sin \hat{i} = n_2 \cdot \sin \hat{r}$ ), cuanto mayor sea  $n_1$  y menor sea  $n_2$ , mayor será el ángulo  $\hat{r}$  de refracción y, por tanto la profundidad máxima a la que se podrá ver el objeto aumentará. Naturalmente, si  $n_1$  y  $n_2$  fuesen iguales,  $H'$  se debería de hacer igual a  $H$ .



¿Cómo podríamos obtener la profundidad máxima  $H'$ ?

Para determinar  $H'$  bastaría con conocer  $\text{tg } \hat{i}$  ya que, como se puede ver en la figura:

$$\text{tg } \hat{i} = \frac{D}{H'}$$

De acuerdo con la ley de la refracción:

$$\text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \text{sen } \hat{r} \quad \text{de modo que dividiendo por } \cos \hat{i} \text{ tenemos: } \text{tg } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\text{sen } \hat{r}}{\cos \hat{i}}$$

Por tanto, si pudiésemos calcular  $\frac{\text{sen } \hat{r}}{\cos \hat{i}}$  tendríamos resuelto el problema.

$$\text{De la figura anterior } \text{sen } \hat{r} = \cos \phi = \frac{d}{\sqrt{d^2 + h^2}}; \quad \cos \hat{i} = \frac{H'}{\sqrt{H'^2 + D^2}}$$

$$\text{De modo que: } \text{tg } i = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{d}{\sqrt{d^2 + h^2}} \cdot \frac{\sqrt{H'^2 + D^2}}{H'}$$

$$\text{de donde podemos obtener finalmente: } H' = \frac{D}{n_2 \cdot d} \cdot \sqrt{h^2 n_1^2 + d^2 (n_1^2 - n_2^2)}$$

Y sustituyendo los datos:  $H' = 7'5 \text{ m}$

Si analizamos el resultado literal que acabamos de obtener vemos en primer lugar que, efectivamente, tal y como habíamos supuesto, la profundidad es ahora mayor que la obtenida para la piscina sin agua. Por otra parte contempla todas las hipótesis, incluyendo la de que cuanto mayor fuese  $n_1$  y menor  $n_2$ , más grande sería la profundidad permitida. Incluso, podemos ver que para el caso particular de que  $n_1 = n_2$  (por ejemplo cuando se vacía la piscina), el resultado se convierte en el anterior, es decir,  $H' = H$ .

Otro aspecto interesante que podríamos plantearnos es *cuál sería la profundidad aparente que una persona diría que tiene una piscina al observar su fondo desde una cierta distancia de la orilla.*

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Analizando la última figura, podemos ver que dicha profundidad coincidiría con la profundidad  $H$  calculada cuando hemos supuesto que la piscina estaba vacía, que es de donde parece provenir el rayo refractado, de modo que:

$$H' = \frac{D \cdot h}{d} \cdot \frac{\sqrt{h^2 n_1^2 + d^2 (n_1^2 - n_2^2)}}{n_2 \cdot h} = H \cdot \frac{\sqrt{h^2 n_1^2 + d^2 (n_1^2 - n_2^2)}}{n_2 \cdot h}$$

y despejando obtenemos finalmente:

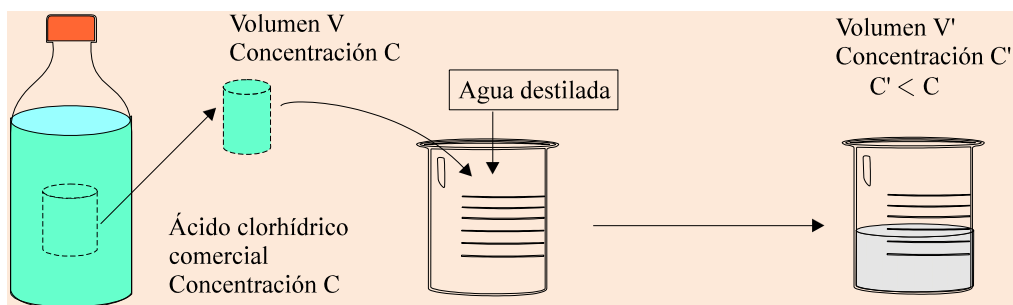
$$H = H' \cdot \frac{n_2 \cdot h}{\sqrt{h^2 n_1^2 + d^2 (n_1^2 - n_2^2)}}$$

Así el fondo de una piscina de 2 m de profundidad, visto desde la posición indicada, parecería estar a 0'73 m y resultar un serio peligro para quienes además de no conocer el fenómeno de la refracción tampoco supieran nadar.

#### 7. ¿Qué volumen de ácido clorhídrico 12 M precisaremos para obtener 40 cm<sup>3</sup> de disolución 3 M de ése mismo ácido?

Son muchas las situaciones en las que se tiene una o varias sustancias disueltas y se desea rebajar la concentración de la disolución. Son conocidas, por ejemplo, las prácticas de añadir agua a bebidas alcohólicas; en los laboratorios de química se suelen disponer de disoluciones acuosas de ácidos y bases muy concentradas, con lo que ocupan menos espacio; para pintar paredes se suele rebajar la pintura con agua; también sabemos que en muchas operaciones habituales en los laboratorios (por ejemplo, en las valoraciones), se han de manejar volúmenes de disoluciones de ácidos y bases de una concentración determinada y para ello es muy frecuente diluir adecuadamente las disoluciones concentradas que venden las casas que comercializan esos productos químicos.

En este caso, se trata de calcular qué volumen  $V$  de disolución de concentración molar conocida ( $C$ ), se precisa para obtener un volumen  $V'$  de disolución de una concentración molar menor ( $C'$ ). El proceso puede visualizarse de la manera siguiente:



*¿De qué factores cabe esperar que dependa la magnitud buscada?*

En principio, podemos pensar que el volumen buscado dependerá de las concentraciones  $C$  y  $C'$  así como del volumen de disolución diluida que se quiera obtener.

Operativamente esto puede expresarse como:  $V = V(C, C', V')$

Podemos tratar de ir un poco más allá y hacer alguna hipótesis respecto a la forma en que podría influir cada uno de los factores anteriores señalando que:

A igualdad de las restantes variables influyentes en el proceso, cabe esperar que:

- ✓ Cuanto mayor sea el volumen  $V'$  de disolución diluida que deseamos preparar, mayor será el volumen  $V$  de disolución concentrada que deberemos extraer de la botella, es decir: Si  $V'$  aumenta,  $V$  también aumentará.
- ✓ Cuanto mayor sea la concentración  $C'$  de la disolución diluida que queremos preparar, mayor será el volumen  $V$  de disolución concentrada que deberemos sacar de la botella, es decir: Si  $C'$  aumenta,  $V$  también aumentará.
- ✓ Cuanto mayor sea la concentración  $C$  de la disolución de la botella, menos volumen de disolución necesitaremos extraer de la misma para preparar un volumen  $V'$  dado de disolución diluida (de concentración  $C' < C$ ), es decir: Si  $C$  aumenta,  $V$  disminuirá.

También podemos considerar alguna situación límite evidente como, por ejemplo, que si  $C' = C$  los volúmenes  $V$  y  $V'$  deberían ser iguales (no habría que añadir nada de agua) o que si  $C'$  fuese 0,  $V$  también tendría que serlo. También es evidente que si lo que queremos es diluir, el valor de  $V$  siempre tendrá que ser inferior al de  $V'$ .

Una forma de relacionar  $V$  con las magnitudes de las cuales pensamos que depende (datos del problema), es investigando si en el proceso de dilución hay algo que se mantenga invariable (búsqueda de regularidades).

En primer lugar conviene darse cuenta que la concentración de HCl en el volumen  $V$  deberá de ser idéntica a la concentración  $C$  correspondiente al clorhídrico comercial de la botella, ya que el hecho de sacar un poco de la disolución de la botella, afecta a la cantidad de soluto (que dependerá del volumen de disolución que se extraiga) pero no a su concentración que, lógicamente, permanecerá invariable.

En segundo lugar, la cantidad de soluto HCl existente en el volumen  $V$  tiene que ser la misma que la que existe en el volumen  $V'$  ya que lo único que añadimos para diluir es agua destilada. Por tanto, el número de moles de HCl existente en la disolución diluida habrá de ser el mismo que el número de moles de HCl existente en el volumen  $V$  de disolución concentrada que extraigamos de la botella. Como el número de moles de soluto está relacionado con la concentración molar de la disolución y con el volumen de la misma, una forma de resolver el problema sería igualar las expresiones correspondientes a los moles de HCl en  $V$  y en  $V'$  y a partir de la ecuación resultante obtener  $V$ .

De acuerdo con el razonamiento anterior:  $n_s = n'_s$

Como el número de moles de soluto de una disolución se puede expresar como el producto de la concentración molar por el volumen (en litros), sustituyendo en la ecuación anterior tenemos:

$C \cdot V = C' \cdot V'$  de donde obtenemos finalmente que:

$$V = \frac{C' \cdot V'}{C}$$

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

y sustituyendo  $V = 3 \cdot 0'04/12 = 0'01$  litros =  $10 \text{ cm}^3$

Analizando el resultado literal anterior vemos que es dimensionalmente homogéneo y que además, contempla todas las hipótesis iniciales incluyendo los casos límite considerados.

Por otra parte, es conocido que en las botellas en donde se comercializan los ácidos y bases que se usan en los laboratorios de química, no se suele indicar la concentración molar, siendo habitual que en la etiqueta figure la densidad de la disolución y la riqueza porcentual (gramos de soluto por cada 100 gramos de disolución). *¿Cómo podríamos proceder en este caso?*

Tendríamos que variar el resultado literal anterior expresando la concentración molar  $C$  en función de los datos que conocemos (densidad de la disolución y riqueza de la misma):

Para ello sabemos que  $n_s = m_s/M$  siendo  $m_s$  la masa (en gramos) de soluto y  $M$  su masa molar (en gramos/mol). Como la masa de soluto  $m_s$  está relacionada con la masa total  $m$  de la disolución mediante la riqueza porcentual de la misma, podemos escribir que:

$$m_s = \frac{r}{100} \cdot m \text{ siendo } r \text{ el valor de la riqueza en tanto por cien.}$$

Incluyendo las transformaciones anteriores en la expresión de la concentración molar  $C$ :

$$C = \frac{n_s}{V} = \frac{m_s}{M \cdot V} = \frac{r \cdot m}{M \cdot V \cdot 100}$$

y teniendo en cuenta que  $m/V$  representa la densidad “ $d$ ” de la disolución en  $\text{g/l}$ , nos queda:

$$C = \frac{r \cdot d}{M \cdot 100} \text{ moles/l (si } r \text{ en } \%, d \text{ en g/l y } M \text{ en g/mol)}$$

y sustituyendo esta última expresión en el resultado anterior obtenemos:

$$V = \frac{C' \cdot V' \cdot M \cdot 100}{r \cdot d} \text{ litros (si } C' \text{ en moles/l, } V' \text{ en l, } M \text{ en g/mol, } d \text{ en g/l y } r \text{ en } \%).$$

**8. El fuel que se emplea en una central térmica contiene un 0'8 % en peso de azufre. Suponiendo que todo el azufre reacciona con el oxígeno para dar dióxido de azufre y que en la central citada se queman al día 40 toneladas de fuel ¿cuántos litros de dióxido de azufre gaseoso (medidos a 730 mm de Hg y 120 °C) salen por la chimenea diariamente?**

Al quemar un combustible como el fuel (mezcla de hidrocarburos pesados procedentes del petróleo) siempre se producen gases con efectos contaminantes. Uno de ellos es el CO<sub>2</sub> (que contribuye a aumentar el efecto invernadero) que resulta de la combustión de los hidrocarburos y otro el SO<sub>2</sub> debido a la combinación del azufre que contiene el fuel (como impureza) con el oxígeno del aire. Este último gas, contribuye a que se produzca el fenómeno de las lluvias ácidas que afecta gravemente a diversas zonas boscosas (especialmente del norte de Europa).

En general, casi todas las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera son debidas a la utilización industrial de combustibles fósiles (con un contenido variable de azufre como impureza) fundamentalmente en la industria, el transporte y la calefacción. Solo una mínima parte se debe a otras causas como, por ejemplo, la actividad de los volcanes.

Uno de los problemas causados por el SO<sub>2</sub> es que en la atmósfera se oxida a SO<sub>3</sub> y éste último reacciona con el vapor de agua presente en aire dando ácido sulfúrico según:



Este ácido sulfúrico forma una especie de niebla que cuando llueve cae al suelo destruyendo la vegetación, modificando la acidez de suelos, ríos y lagos y deteriorando muchos monumentos.

En este problema nos limitaremos a estudiar la producción de gas SO<sub>2</sub> cuando se quema completamente una cierta masa de azufre procedente de un combustible fósil, como el fuel, en un ambiente atmosférico cuya presión y temperatura son conocidas.

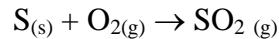
En el caso que se nos plantea, podemos pensar que, en principio, el volumen "V" de SO<sub>2</sub> buscado va a depender de algunos factores como: la masa total "m" de fuel que se utilice cada día, la riqueza porcentual "r" que tenga dicha masa en azufre, así como la presión "P" y la temperatura "T" a las que se mida dicho volumen. Todo ello puede expresarse mediante la ecuación:

$V = V(m, r, P, T)$ , en la que r es el porcentaje (%) en masa de azufre en el fuel.

Cabe esperar que se obtendrá un volumen de gas SO<sub>2</sub> mayor, cuanto mayor sea la masa de fuel y la riqueza en azufre de éste. En cuanto a la influencia de la presión y la temperatura, conviene tener en cuenta que una modificación de sus valores, de acuerdo con la ecuación de los gases, puede alterar el volumen V del SO<sub>2</sub> obtenido, pero eso no afectará a su masa o a su cantidad de sustancia (mientras no se cambie la masa de fuel utilizada o la riqueza en azufre de la misma). Así mismo, es obvio que si r fuera 0 no se obtendría ningún volumen de SO<sub>2</sub>, porque ello querría decir que el fuel utilizado no contenía nada de azufre.

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

La ecuación ajustada que representa la combustión del azufre viene dada por:



Según dicha ecuación el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se producirá cuando reaccione un número determinado de moles de azufre puro, no puede ser cualquiera, sino que deberá cumplirse que:

$$\frac{n_{\text{SO}_2}}{n_{\text{S}}} = \frac{1}{1}$$

Es decir, el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se produzcan será el mismo que el número de moles de S que se quemen. De acuerdo con ello, una forma de resolver el problema será determinar los moles de S que se queman y, a continuación, el volumen que ocuparían el mismo número de moles de  $\text{SO}_2$  (en las condiciones de presión y temperatura que se indican).

Para calcular el número de moles de azufre  $n_{\text{S}}$ , hemos de saber primero qué masa de azufre puro  $m_{\text{S}}$  hay en la masa total  $m$  de fuel que se quema. Eso puede hacerse fácilmente a través de la riqueza (en tanto por cien)  $r$  de modo que:

$$m_{\text{S}} = \frac{r}{100} \cdot m, \text{ con lo que } n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{r \cdot m}{M_{\text{S}} \cdot 100}$$

Según hemos razonado antes, el número de moles de moléculas de  $\text{SO}_2$  producido ha de coincidir con el número de moles de azufre S que se queman, es decir:  $n_{\text{SO}_2} = n_{\text{S}}$ , por tanto, podemos escribir que:

$$n_{\text{SO}_2} = \frac{r \cdot m}{M_{\text{S}} \cdot 100}$$

El volumen ocupado por los moles anteriores no podrá ser cualquiera, sino que será aquel que cumpla la ecuación de los gases perfectos:  $PV = n R T$ . Por tanto:

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{n_{\text{SO}_2} \cdot R \cdot T}{P}, \text{ de donde } V_{\text{SO}_2} = \frac{r \cdot m \cdot R \cdot T}{M_{\text{S}} \cdot P \cdot 100}$$

y sustituyendo valores:  $V_{\text{SO}_2} = 335.503'6$  litros

Analizando los resultados podemos ver que recogen todas las hipótesis anteriores. Concretamente, para una presión y temperaturas dadas, cuanto mayores sean los valores de la masa de fuel ( $m$ ) que se queme y su riqueza en azufre ( $r$ ), mayor será el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se produzcan y el volumen ocupado por los mismos. También se puede comprobar que si  $r$  fuera 0, el volumen de  $\text{SO}_2$ , como es lógico, también lo sería. Por otra parte, basta un breve análisis de la ecuación obtenida para percatarse de que ésta es dimensionalmente homogénea.

### 9. ¿Cuántas copas de licor puede tomar como máximo un conductor sin llegar a ser un peligro para la circulación?

El alcohol no es transformado por los jugos digestivos del estómago como ocurre con los alimentos, sino que pasa a la sangre por la que se difunde a los diferentes órganos y tejidos del cuerpo humano, siendo metabolizado (quemado) en el hígado. El alcohol que se encuentra en los tejidos produce efectos anestésicos en el sistema nervioso central con una intensidad que depende de varios factores (masa corporal, etc.).



En el hígado el alcohol se transforma en dióxido de carbono y agua a una cierta velocidad. Sin embargo cuando la cantidad de alcohol ingerido es superior a las posibilidades metabólicas normales del hígado, este ha de ser destruido por otras vías. Dichas vías son peligrosas porque implican la destrucción de células y que el organismo se habitúe a cantidades mayores de alcohol pudiendo crear dependencia.

La alcoholemia es la cantidad de alcohol que hay en la sangre después de ingerir una bebida alcohólica. Esa cantidad es proporcional a la cantidad de alcohol ingerida y a la graduación alcohólica de la bebida.

Como el problema planteado consiste en averiguar el número de copas de licor para que su sangre contenga la máxima concentración de alcohol permitida según la legislación vigente, antes de proceder a su resolución conviene fijar las condiciones y las variables con las que vamos a trabajar.

- Supondremos que cada persona absorbe en sangre por término medio una cierta cantidad en masa de alcohol por cada 100 g de alcohol ingerido. Al tanto por uno de esa cantidad lo llamaremos “ $p$ ”.
- Designaremos como  $V_s$  el volumen medio (en litros) de sangre en el cuerpo humano. (Se trata del volumen total una vez absorbido todo el alcohol posible).
- Consideraremos que un conductor es un peligro para la circulación a partir del momento en que rebasa el máximo de concentración etanol en sangre permitido en las pruebas de alcoholemia, la cual designaremos como “ $C_m$ ”.
- Admitiremos que el volumen de licor contenido en cada copa es constante y lo designaremos como  $V_c$ .
- Finalmente, hemos de tener en cuenta que la graduación de la bebida alcohólica también influirá. Designaremos este factor como “ $g$ ” cuando se exprese en tanto por uno (en volumen). En general una graduación de, por ejemplo, 40° significa que cada 100 cm<sup>3</sup> de licor contienen 40 cm<sup>3</sup> de etanol. En este caso,  $g$  valdría 0,40.

Se trata de encontrar la relación existente entre el número de copas “ $n$ ” y las variables porcentaje de absorción del alcohol en la sangre, volumen promedio de sangre existente en el cuerpo de una persona adulta, máxima concentración (en g/l), de etanol permitida legalmente en la sangre, volumen de licor ingerido en cada copa y graduación alcohólica de dicho licor.

#### 4. El problema de los problemas \_\_\_\_\_

Dicha dependencia se puede expresar como  $n = f(p, V_s, C_m, V_c, g)$  y a igualdad de los restantes factores, cabe esperar que cuanto mayor sea  $V_s$  y  $C_m$  permitida, mayor será el número de copas posible. Por el contrario ese número bajará cuando aumente la graduación y el porcentaje del alcohol ingerido que se absorbe en la sangre.

Para resolver el problema podemos expresar la masa máxima total de etanol en sangre permitida como el producto  $C_m \cdot V_s$  y tratar de relacionar esta expresión con la obtenida a partir del alcohol ingerido con las  $n$  copas de licor.

Para poder calcular el etanol que se ingiere en cada copa es preciso determinar en primer lugar qué volumen de etanol puro hay en cada  $V_c$  litros de licor. Dado que la graduación alcohólica se refiere al porcentaje en volumen, el cálculo que se demanda exige que conozcamos la densidad  $d_e$  del etanol. De esta forma la masa en gramos de etanol en cada copa será:

$$(g \cdot V_c) \cdot d_e.$$

De modo que con  $n$  copas se habrá tomado una masa total de:

$$m = n \cdot g \cdot V_c \cdot d_e$$

De esa masa en gramos de etanol se absorberán en sangre un total de:

$$(p \cdot n \cdot g \cdot V_c \cdot d_e) \text{ gramos de etanol.}$$

Igualando la masa de etanol máxima permitida a la masa de etanol absorbida obtenemos:

$$C_m \cdot V_s = p \cdot n \cdot g \cdot V_c \cdot d_e$$

Despejando el número de copas  $n$ : 
$$n = \frac{C_m \cdot V_s}{p \cdot d_e \cdot g \cdot V_c}$$

El resultado anterior es dimensionalmente homogéneo ( en este caso particular no hay dimensiones en ninguno de los miembros de la igualdad). La concentración de alcohol en sangre se expresa en g/l y el volumen total medio de sangre en l (en el que supondremos incluido el etanol presente en la sangre), el porcentaje  $p$  es en masa, la densidad del etanol de en g/l, la graduación en porcentaje de etanol en volumen y el volumen de licor en l. Además contempla todas las hipótesis de partida y los casos límite considerados.

Podríamos para terminar dar unos valores numéricos lógicos con el fin de establecer de una manera aproximada una solución cuantitativa del problema.

Suponiendo  $V_s = 7$  l,  $C_m = 0.25$  g/l,  $p = 0.20$ ,  $d_e = 790$  g/l,  $g = 0.40$  y  $V_c = 0.05$  l, se puede obtener fácilmente que tomando solo dos copas de ese licor ya se rebasaría el máximo permitido y se consideraría un peligro para la carretera.

**Nota:** Los problemas de química aquí reproducidos se deben al Dr. D. Carles Furió Más.



## 5. EL APRENDIZAJE DE LOS CONOCIMIENTOS TEÓRICOS

La enseñanza de los conocimientos teóricos, no es un problema que tradicionalmente haya preocupado mucho al profesorado de ciencias. Quizás porque los alumnos parecen tener muchas menos dificultades en responder a las preguntas teóricas, que en otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio.

Sin embargo esta comprensión de los conocimientos teóricos es, en muchos casos, más aparente que real. En efecto: ¿Puede hablarse de verdadera comprensión cuando los alumnos no son capaces de aplicar dichos conocimientos para resolver sencillos problemas en contextos ligeramente distintos a lo visto en clase? Los profesores con experiencia saben que en ocasiones los alumnos dan respuestas "chocantes" ante determinadas cuestiones, que revelan, no una simple falta de información, sino más bien una profunda mala interpretación de algún concepto clave.

Fue precisamente el estudio de este tipo de respuestas o **errores conceptuales**, lo que dio lugar a una de las líneas de investigación didáctica más importantes, la del estudio de las denominadas **concepciones alternativas de los alumnos**. La importancia de dicha línea de investigación, no radica únicamente en si misma, sino también y como luego veremos, en que ha contribuido a poner en cuestión los principales modelos educativos existentes y a que se comiencen a perfilar otros nuevos, que permitan conseguir un aprendizaje verdaderamente significativo de los conceptos científicos.

Por otro lado, una gran parte de las investigaciones en este campo, ha sido realizada por los propios profesores especialistas en las diversas materias de ciencias, siendo esta una fuente importante de los trabajos desarrollados en contacto directo con las aulas, llevando a cabo un proceso de investigación-acción.

*Considerad algunos de los problemas que, de acuerdo con la información anterior, sería conveniente que tratásemos en éste módulo.*

Al plantear al comienzo una actividad de este tipo, se busca no solo contactar con lo que más interese al respecto a quienes va dirigida sino también justificar, con su participación, el hilo conductor a seguir durante el tema, el cual responderá a problemas planteados previamente. Esta actividad la hemos ensayado en muchas ocasiones, tanto con profesores en formación como en activo, y los resultados son plenamente satisfactorios, ajustándose bastante al índice previsto para el tema.

Mediante éste tema, vamos a mostrar primeramente la importancia y gravedad del problema de las concepciones alternativas de los alumnos, para a continuación plantearnos cuáles pueden ser las causas más importantes de su origen y persistencia. Un análisis cuidadoso de dichas causas, nos llevará a cuestionar la eficacia de la enseñanza tradicional para su-

perarlo y a la propuesta justificada de nuevas estrategias para avanzar realmente en su solución, deteniéndonos especialmente en lo que se refiere a la introducción de los conceptos científicos y al aprendizaje significativo de los mismos. Finalmente terminaremos el tema considerando a qué otras concepciones que las simplemente relacionadas con conceptos científicos, se podría extender la investigación sobre ideas alternativas.

### **¿Sobre que problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

- ¿Qué son los errores conceptuales? ¿Y las ideas alternativas?
- ¿A qué se debe la enorme importancia de esta línea de investigación didáctica?
- ¿Qué instrumentos se pueden utilizar para la detección de posibles ideas alternativas?
- ¿Cómo se originan las ideas alternativas? ¿A qué se debe su persistencia?
- ¿Qué se puede hacer para conseguir su cambio o evolución de las ideas alternativas hacia las concepciones científicas que tratamos de enseñar?
- ¿Es posible utilizar didácticamente los errores conceptuales?
- ¿A qué otras concepciones alternativas conviene prestar atención?

## **1. ERRORES CONCEPTUALES E IDEAS ALTERNATIVAS**

Como ya hemos comentado, durante mucho tiempo la enseñanza de conceptos teóricos preocupó al profesorado de ciencias bastante menos que otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Esto mismo sucedía también entre quienes se dedicaban a trabajos de investigación educativa sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Esta situación inicial era debida, en parte, a que los fallos en la resolución de problemas (con su alto índice de fracasos) o las carencias y limitaciones de unas prácticas de laboratorio (apenas presentes), resultaban más preocupantes que las posibles dificultades en la comprensión de los conceptos, como mostraba el hecho de que la mayoría de los estudiantes era en la parte teórica de los exámenes donde mejores puntuaciones obtenían. No obstante, algunos pensaban que la aparente facilidad para responder a cuestiones teóricas era más bien el fruto de una simple repetición memorística y se preguntaban si podía hablarse de una verdadera comprensión de los conceptos por parte de los alumnos cuando resultaba que en muchos casos no eran capaces de aplicarlos para resolver sencillos problemas o responder adecuadamente a determinadas cuestiones.

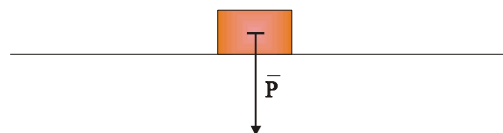
Cualquier profesor con cierta experiencia puede recordar ejemplos de respuestas “curiosas” que revelan ocasionalmente una profunda incomprensión de algún concepto clave. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones, diferentes a las habituales, lo que permitió sacar a la luz una grave y general incomprensión de, incluso, los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa del tipo *"Una piedra cae desde cierta altura en 1 segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa que la primera?"* mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos de enseñanza secundaria y universitarios, consideraba que **una masa doble implicaba mitad de tiempo de caída**. Y ello después de haber resuelto numerosos ejercicios sobre caída de graves e incluso haber realizado un estudio experimental. Análogamente ocurre en otros campos como por ejemplo, en biología, donde suele admitirse, sin apenas dudas, que las plantas respiran durante el día de forma inversa a como lo hacen durante la noche.

La publicación de algunos estudios rigurosos, como la tesis de Laurence Viennot en 1979 sobre concepciones alternativas en dinámica, atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza precisamente allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no solo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen adecuada del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender bien el significado de los conceptos científicos más básicos. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían no parecían deberse a simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se basaban en ideas seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles educativos, e incluso a un porcentaje significativo de profesores de ciencias.

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron **errores conceptuales** se convirtiera rápidamente a partir de los años 80 en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una atención muy particular, como si eso conectara con algo que, en cierto modo, se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

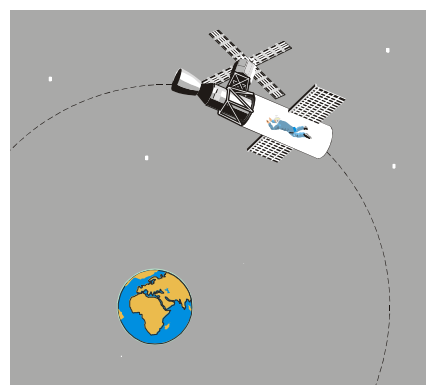
Para concretar, puede ser interesante que, antes de proseguir, analicemos algunas sencillas cuestiones relacionadas con determinados conceptos básicos, en las que se suelen cometer errores conceptuales:

a) La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza peso que actúa sobre el mismo.



Dibujad la fuerza de reacción, pareja de dicha fuerza.

b) Un astronauta se halla en órbita alrededor de la Tierra con movimiento circular y uniforme.



Explicad por qué “flota” dentro de la estación espacial.

En la primera de las cuestiones es bastante habitual encontrar como respuesta un vector centrado en el cuerpo y dirigido verticalmente hacia arriba oponiéndose a la fuerza peso. Naturalmente la respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica ya que, en primer lugar, la fuerza peso se debe a la interacción gravitatoria entre la Tierra y el bloque, por tanto, la pareja deberá estar aplicada en la Tierra y no en el propio bloque. Por otra parte, la fuerza que ejerce el bloque sobre la superficie de la mesa **nunca es** el peso (aunque su módulo, en determinados casos, pueda coincidir con el del peso).

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, se suelen cometer diversos errores conceptuales, tales como afirmar que el astronauta flota porque la gravedad es muy peque-

ña o nula, o bien señalar que la fuerza de atracción gravitatoria se anula con la fuerza centrífuga que actúa sobre el astronauta. No se tiene en cuenta que, tanto la estación espacial como el astronauta que va dentro de ella, se encuentran sometidos a la atracción gravitatoria terrestre y que ésta es, en todo momento, perpendicular a la trayectoria circular que describen en torno a la Tierra. Si esa fuerza de pronto dejase de existir, la estación seguiría moviéndose en línea recta y con la velocidad que llevase justo en ese instante, tal y como se afirma en el primer principio de la dinámica. Es precisamente la existencia de esa fuerza gravitatoria lo que explica que la velocidad de la estación orbital vaya cambiando continuamente de dirección. *¿Por qué se dice entonces habitualmente que los astronautas trabajan en ausencia de gravedad?*

La sensación física que tenemos acerca de nuestro propio peso se debe a la existencia de otras fuerzas que habitualmente lo equilibran. Así, por ejemplo, cuando nos colocamos encima de la balanza del baño, la fuerza peso con que la Tierra nos atrae es equilibrada por la fuerza ejercida sobre nosotros por el muelle de la balanza. Notamos esa fuerza, lo mismo que la que nos hace el suelo cuando permanecemos de pie en él y esto nos da la sensación de que pesamos. A veces, la superficie sobre la que estamos nos hace una fuerza mayor que nuestro peso (y nosotros a ella), por eso notamos **como si** pesáramos más (aunque la Tierra nos sigue atrayendo con la misma fuerza y realmente seguimos pesando lo mismo). Esto ocurre, por ejemplo, en el momento en que un ascensor arranca y acelera hacia arriba. En otros casos sucede lo contrario y la fuerza que nos hace la superficie (y nosotros a ella) es menor que nuestro peso y, consecuentemente, nos parece que pesamos menos (por ejemplo cuando un ascensor inicia la bajada o al descender bruscamente en la montaña rusa de un parque de atracciones).

*¿Qué ocurrirá en aquellas situaciones en las que la superficie no ejerce ninguna fuerza sobre nosotros o, simplemente, no hay ninguna superficie y estamos en caída libre?*

En esos casos nos **parecería** que no pesamos nada. Sentimos un estado de "ingravedez" pero eso, naturalmente, no debe interpretarse como que no hay gravedad o que la Tierra ha dejado de atraernos y realmente no pesamos. Esa misma sensación la experimentan por unos segundos, los saltadores de trampolín, los paracaidistas y también (de forma continua) los astronautas en órbita alrededor de la Tierra. Así pues, cuando se dice que un astronauta está en estado de "ingravedez" debe interpretarse que se halla en **caída libre**, sometido a la acción de la fuerza gravitatoria terrestre sin ninguna otra fuerza que la equilibre, pero no que se encuentre en un lugar donde no exista gravedad. Flota dentro de la estación espacial análogamente a como lo haría otra persona dentro de la cabina de un ascensor al que se le hubiesen roto los cables.

Mediante las dos cuestiones anteriores hemos tenido ocasión de asomarnos al problema de los errores que suelen cometerse al plantear la utilización de algunos conceptos básicos de ciencias en determinados contextos. Dichos errores, afectan a la mayoría de los campos científicos.

*En el **anexo 1**, incluido al final de este tema, se exponen algunas cuestiones referidas a distintos dominios científicos (biología, mecánica, electricidad, química, etc.) sobre las que conviene reflexionar antes de seguir leyendo (primero individualmente y después en pequeños grupos, intentando ponerse de acuerdo en el caso de alguna discrepancia).*

Las respuestas al cuestionario, científicamente más aceptables, son las siguientes:

1(a), 2(d), 3(b), 4(a), 5(c), 6(a), 7(b), 8(a), 9(c), 10(c), 11(b), 12(b), 13(b), 14(todos excepto el cloro), 15(c), 16(b), 17(las tres falsas), 18(b).

Sin embargo, cuando este mismo cuestionario se ha pasado a alumnos de distintos niveles y también, incluso, a profesores de ciencias en formación, se comprueba la existencia frecuente de ciertos errores conceptuales que conviene analizar. (En cursos de formación didáctica conviene hacer este análisis en grupo y con las orientaciones del profesor, que suministrará información complementaria cuando sea necesario).

Una vez que se han analizado los errores más comunes cometidos en la cumplimentación del cuestionario citado, se puede plantear la siguiente actividad:

*¿Qué características comunes pensáis que pueden tener los errores conceptuales analizados que justifiquen nuestro interés acerca de los mismos?*

Dichos errores tienen algunas características comunes, tales como las siguientes:

- a) Se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos teóricos que los contradicen.
- b) Se hallan asociados con frecuencia a una determinada interpretación sobre un concepto científico dado (fotosíntesis, gravedad, fuerza, intensidad de corriente, metal, etc.) diferente a la aceptada por la comunidad científica.
- c) Se trata de respuestas que suelen darse rápidamente y sin dudar, con el convencimiento de que están bien.
- d) Son equivocaciones que se cometen por un gran número de alumnos de distintos lugares y también, incluso, por algunos profesores.

A este tipo de respuestas, contradictorias con los conocimientos científicos vigentes, ampliamente extendidas, que se suelen dar de manera rápida y segura (apenas se dejan contestaciones en blanco), que se repiten insistentemente y que se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos, se las denomina: **errores conceptuales** y a las ideas que llevan a cometerlos: **concepciones alternativas** (porque realmente responden a la existencia de ideas diferentes a las ideas científicas que queremos enseñar). Esas ideas alternativas son las que, en las cuestiones anteriores, llevan generalmente a contestar de forma coherente con ellas y constituyen un serio obstáculo para el aprendizaje de las ciencias.

En Didáctica de las Ciencias, entendemos que un error conceptual es una respuesta equivocada que afecta a un concepto científico determinado y que responde a la existencia, en la mente del sujeto que lo comete, de una representación de dicho concepto diferente a la aceptada dentro del cuerpo teórico de conocimientos científico en el que se está trabajando.

Algunos autores señalaron la conveniencia de desterrar el término "error" afirmando que induce a una valoración negativa de las ideas de los alumnos. Sin embargo, es conveniente indicar que cuando se califica una respuesta como errónea, lo que se está señalando (al menos en la enseñanza de las ciencias) es que ese resultado no es aceptable de acuerdo con la teoría científica que se esté utilizando. Así pues, ello no implica

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

hacer ningún juicio de valor sobre la posible idea de la cual ha derivado el estudiante su respuesta.

En el siguiente ejemplo, se puede ver claramente la diferencia entre error conceptual e idea alternativa:

*Un observador en reposo desde el suelo ve que desde un globo, que está ascendiendo verticalmente con una rapidez de 10 m/s, se suelta un lastre en el momento que se encuentra a 40 m del suelo. Calculad el valor de la rapidez con que, según dicho observador, chocará el lastre contra el suelo. Datos: Considerad el rozamiento despreciable y que el módulo de la aceleración de la gravedad vale 10 m/s<sup>2</sup>.*

Si el lector se molesta en resolver este problema verá que el resultado numérico correcto, es decir, coherente con la mecánica clásica y con las condiciones que se consideran imperantes en el enunciado del problema, es de 30 m/s (en valor absoluto).

Sin embargo, se pueden obtener muchos otros resultados diferentes que sean considerados erróneos y ello puede deberse a múltiples causas como, por ejemplo, no conocer bien las ecuaciones del movimiento o equivocaciones cometidas al operar. No obstante, de entre todas las respuestas erróneas posibles, hay una que es especial: Nos referimos al resultado  $v = 28,3$  m/s.

*¿Qué tiene de especial precisamente esa respuesta?*

Esa respuesta errónea (a diferencia de las demás) constituye un **error conceptual**. Un error consecuente con la existencia, en la mente del sujeto que lo comete, de una **idea alternativa** muy concreta: la idea de fuerza como causa del movimiento. Esa idea lleva a pensar que, **en cuanto** el lastre pierde contacto con el globo, deja de estar empujado por él y debido al peso comienza a caer inmediatamente con velocidad inicial nula respecto del observador situado en el suelo.

La confusión entre error conceptual e idea alternativa se dio, sobre todo, en los comienzos de esta línea de investigación didáctica, cuando ambos términos se utilizaban como sinónimos. Por otra parte, la gran diversidad terminológica que se utilizó en la década de los 80 del siglo pasado para denominar a las ideas alternativas (preconcepciones, ideas previas, ciencia de los niños, teorías implícitas, ideas ingenuas, etc.) ha sido ya superada, imponiéndose el término de ideas o concepciones alternativas independientemente de cómo éstas se hayan generado.

*Revisad las dos cuestiones propuestas al comienzo de este tema así como las que conforman el **anexo1** incluido al final del mismo y elaborad una lista con algunas de las ideas alternativas que puedan estar orientando los errores conceptuales que suelen cometerse al contestarlas.*

En el caso de las dos cuestiones que, a modo de ejemplo, hemos propuesto al comienzo del tema, las ideas alternativas que orientan las respuestas erróneas que se dan con más frecuencia, suelen ser: la fuerza que ejerce un cuerpo sobre una superficie **es** el peso del cuerpo (para la primera cuestión) y en el vacío **no** hay gravedad (para la segunda cuestión).

En cuanto al anexo 1, algunas de las ideas alternativas que pueden encontrarse detrás de los errores conceptuales que se cometen al contestar las cuestiones que lo forman, son:

- ✓ En el caso de las plantas verdes, su respiración es entendida como un proceso de intercambio gaseoso inverso al que efectúan los animales, durante el cual la planta tomaría dióxido de carbono del aire y expulsaría oxígeno. Para muchos alumnos esta respiración inversa se realiza durante el día, mientras que por la noche lo harían como los animales (en cuanto al intercambio de gases). Subyace la idea de considerar todo intercambio gaseoso como respiración, con lo que la fotosíntesis es entendida como una forma de respiración que se realiza durante el día.
- ✓ Creer que en el vacío no hay gravedad.
- ✓ Relacionar la fuerza con el movimiento, en lugar de con el cambio de movimiento. Esta idea alternativa de fuerza como causa de la velocidad, se puede operativizar como:  $\vec{F} = k \cdot \vec{v}$ , lo cual es muy diferente al concepto newtoniano de fuerza como causa de la aceleración, que se operativiza como:  $\vec{F} = k \cdot \vec{a}$ . La idea alternativa de fuerza, lleva a pensar, coherentemente con ella, que: Sobre todo cuerpo en movimiento debe estar actuando una fuerza, de tal modo que si cesa dicha fuerza el cuerpo se para; que a mayor velocidad mayor será el valor de la fuerza (según una proporcionalidad directa); que el movimiento siempre se realizará en la misma dirección y sentido que la fuerza resultante; y que si, en un instante dado, la velocidad vale 0, la fuerza resultante sobre el cuerpo en ese mismo instante deberá ser nula.
- ✓ La idea de fuerza como causa del movimiento es coherente con la de que los objetos más pesados han de llegar al suelo antes que los más ligeros (cuando se dejan caer desde la misma altura) o, más precisamente, con la idea de una proporcionalidad inversa entre el peso (o la masa) y el tiempo de caída (se piensa, por ejemplo, que a doble peso ha de tardar en caer la mitad de tiempo). En efecto, si un objeto tiene doble masa que otro y ambos se hallan a la misma altura sobre el suelo, el primero será atraído hacia el centro de la Tierra con el doble fuerza que el segundo (lo cual es cierto) y según la idea  $\vec{F} = k \cdot \vec{v}$ , deberá caer el doble de rápido (lo cual es falso).
- ✓ La idea de fuerza como causa del movimiento lleva también en la cuestión 8 a señalar la propuesta b como correcta en un gran porcentaje de casos y en prácticamente todos los niveles educativos (el bloque se mueve cada vez más lento luego... ha de ejercer cada vez menos fuerza). Una comprensión correcta del tercer principio de la dinámica y de la ley de Hooke, debería llevar a señalar como respuesta correcta la opción a (cada vez con más fuerza).
- ✓ Los gases no pesan. Esta idea puede explicar (al menos en parte) que muchos encuestados señalen en la cuestión 6, que el peso de (2) será menor que el de (1).
- ✓ Atribuir a los átomos propiedades “macroscópicas” para explicar toda una serie de fenómenos como la disolución, cambios de estado, dilatación, etc. Se piensa así que si el hierro funde es porque los propios átomos de hierro se funden o que si un gas se comprime son las propias partículas las que se reducen de tamaño, etc.
- ✓ Creer que algunos caracteres tales como adquirir un cuerpo atlético haciendo ejercicio físico continuado, se pueden transmitir a los descendientes.
- ✓ Pensar que de la simple suciedad pueden surgir organismos vivos.
- ✓ Otras ideas alternativas son: una parte de la corriente eléctrica se gasta cuando esta pasa por una lámpara, la luz es algo que se puede ver (igual que vemos los objetos ordinarios), las chimeneas volcánicas llegan hasta el núcleo terrestre, el avance global de los electrones que constituyen la corriente eléctrica continua por un cable (“mar de electrones”) se realiza a una velocidad enorme, etc.

Curiosamente, algunas de las ideas anteriores recuerdan a otras que se dieron durante determinados periodos de la historia de la ciencia. Tal es el caso, por ejemplo, del concepto aristotélico–escolástico de fuerza, o la idea de que los “elementos” tienden espontáneamente a moverse hacia su lugar natural (los gases hacia arriba y por eso no pesan, las piedras hacia el centro del planeta y tanto más aprisa cuanto más proporción tengan del elemento “tierra”), el concepto de heredabilidad de caracteres defendido por Lamarck, según el cual los cambios anatómicos y fisiológicos son debidos a necesidades provocadas por las condiciones ambientales, de forma que el uso continuado haría aumentar un órgano, mientras que el no uso continuado lo disminuiría llegando a atrofiarlo, siendo además estos cambios transmitidos a la descendencia, o la misma idea de la generación espontánea. Esta similitud es un dato que conviene retener, dadas sus implicaciones en el diseño de estrategias de enseñanza adecuadas para afrontar el problema de las ideas alternativas.

*¿A qué puede deberse la gran importancia e interés que se atribuye en general al tema de las ideas alternativas?*

Tanto la existencia de los errores conceptuales como la de las concepciones alternativas que llevan a los alumnos a cometer **esos y no otros** errores, es algo que ya se conocía desde hace mucho tiempo. Así Bachelard en 1938 señalaba ya que:

"A menudo me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias, más aún que los demás si cabe, no entienden que no se comprenda. No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana"

Sin embargo, no fue hasta finales de los 70 cuando, coincidiendo con la tesis doctoral de Viennot sobre las ideas espontáneas de los alumnos en dinámica, se inició un proceso sistemático de estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes, y ello no únicamente como investigación de laboratorio sino también y fundamentalmente dentro del aula, por los propios profesores especialistas en las distintas materias científicas. La importancia atribuida al tema y la relevancia de los resultados obtenidos (principalmente en el área de la mecánica) pronto hicieron que éste se convirtiese en una de las primeras líneas de investigación didáctica. En la actualidad, prácticamente todos los campos de las ciencias han sido analizados. Toda esta investigación no se ha limitado, claro está, a describir los errores más frecuentes, sino que ha ido acompañada también de un profundo cuestionamiento de la enseñanza habitual; aunque ello no debe llevarnos a minusvalorar la aportación que han supuesto las numerosas investigaciones descriptivas que, entre otras cosas, han puesto a punto distintas técnicas para la detección de ideas alternativas y han mostrado la extensión y gravedad del problema.

A continuación veremos diferentes formas de poner de manifiesto la existencia de posibles ideas alternativas para, después, plantearnos cuáles pueden ser las causas más importantes de su origen y de su persistencia. Un análisis cuidadoso de dichas causas, nos llevará a cuestionar la eficacia de la enseñanza tradicional para superar el problema y conseguir un aprendizaje de los conceptos teóricos realmente significativo, así como a la propuesta justificada de nuevas estrategias para la enseñanza de las ciencias, analizando la coherencia de las mismas con el modelo ya establecido de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés.



## 2. ¿CÓMO DETECTAR LA EXISTENCIA DE IDEAS ALTERNATIVAS?

Existen diversas técnicas para identificar, clarificar y cuantificar la incidencia, de las concepciones alternativas que los alumnos tienen en los distintos campos de las ciencias.

*Describid algunos métodos que se puedan utilizar para la detección y estudio de posibles concepciones alternativas.*

Podemos mencionar, en primer lugar, las **entrevistas clínicas**, en las que se pide al alumno su opinión respecto de un problema determinado; se le hacen preguntas, mas o menos abiertas, sobre algún concepto; se le muestran dibujos que representan determinadas situaciones para que las comente, etc. A menudo, estas entrevistas son grabadas para después analizarlas. Las preguntas de tipo abierto suelen utilizarse cuando no se sabe mucho acerca de las ideas que los alumnos puedan tener respecto a un concepto dado. También sirven para medir, aunque sea cualitativamente, el grado de satisfacción de cada alumno con una concepción dada (si la ve útil o no, si tiene dudas respecto a su validez, etc.). En general, tienen la ventaja de posibilitar un mayor control de las variables que pueden intervenir (edad, sexo, tipo de escuela, nivel socioeconómico, nivel académico, etc.) aunque, evidentemente, presentan los inconvenientes de la gran cantidad de tiempo que precisan y la menor generabilidad de sus resultados.

Otro instrumento es el **cuestionario** para ser pasado a grupos de estudiantes (como el que presentamos en el anexo1). En ellos las cuestiones se diseñan de forma que, quienes sostienen una cierta concepción alternativa, dan respuestas coherentes con dicha concepción. Las cuestiones pueden ser de opción múltiple, señalar simplemente verdadero o falso a distintas proposiciones, o de expresar, de alguna manera, el grado de acuerdo, etc. Mediante este sistema, el control de variables no es tan grande; sin embargo, al poder ser utilizados a la vez con grandes muestras, los cuestionarios permiten obtener unos resultados más generales. Normalmente, el diseño de este tipo de cuestiones se realiza cuando se conoce ya la existencia de determinadas concepciones alternativas y se desea disponer de algún dato cuantitativo como, por ejemplo, su grado de incidencia en un colectivo y momento dados.

El gran interés que las cuestiones relacionadas con la posible existencia de concepciones alternativas despierta entre la mayoría del profesorado, no es en modo alguno gratuito. En efecto, en las estrategias de enseñanza más habituales se suele buscar la simple constatación de un aprendizaje puramente memorístico. Sin embargo, un aprendizaje realmente significativo, precisa de actividades problemáticas mediante las cuales los estudiantes puedan cuestionar constantemente sus propias ideas y poner a prueba, en diferentes contextos, los nuevos conocimientos que se vayan introduciendo. En este sentido, las cuestiones citadas, constituyen un poderoso instrumento para la "detección funcional" de concepciones alternativas, es decir, son actividades que pueden utilizarse no solo como simple diagnóstico sino también, y sobre todo, para aprender y para evaluar lo aprendido, por lo que pueden desempeñar un papel muy importante en el tratamiento del problema de los errores conceptuales y en la mejora del aprendizaje de las ciencias en general.

Por supuesto, existen toda una serie de normas básicas a seguir para elaborar este tipo de cuestiones, especialmente cuando se trata de realizar algún trabajo de investigación.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

Entre ellas podemos destacar la necesidad de consultar con otros colegas especialistas en el tema, realizar algún pequeño ensayo piloto para ver si funcionan, incluir en todas ellas la opción "no lo se" con el fin de evitar en lo posible las respuestas aleatorias, etc. También se puede pedir explícitamente a los alumnos las explicaciones a sus respuestas o que den algún tipo de información acerca de lo seguros que están de la validez de las mismas o darles las respuestas erróneas y pedirles que expliquen el porqué lo son, etc.

A pesar de que su propósito principal no es el estudio de las ideas alternativas, los **mapas conceptuales** constituyen otro instrumento con el que éstas, en caso de que se tengan, pueden ponerse de manifiesto. Ello ocurre, por ejemplo, cuando se relacionan dos conceptos de forma inadecuada (como podría ser la fuerza y la velocidad) o cuando se atribuyen determinadas cualidades a algo que no las tiene (como podría ser afirmar que las propias partículas materiales se contraen o se dilatan según disminuya o aumente la temperatura).

Finalmente conviene insistir en que, en general, todas aquellas **actividades problemáticas** en las que los alumnos tengan que explicitar y utilizar sus ideas de partida (acertadas o no) al tratar de resolverlas, constituyen un excelente instrumento para la detección y tratamiento de posibles concepciones alternativas. En un modelo de enseñanza basado fundamentalmente en la transmisión verbal de conocimientos por parte del profesor, difícilmente pueden salir a la luz tales ideas. Lo mismo ocurre cuando se cae en una visión demasiado empirista de la ciencia y del trabajo científico (que puede afectar a profesores, alumnos y también a los propios libros de texto) con trabajos prácticos tipo receta, problemas como simples ejercicios de aplicación y, en general, sin actividades en las que los estudiantes tengan ocasión de hacer ninguna hipótesis.

*Diseñad algunas cuestiones que puedan servir para poner de manifiesto la existencia de concepciones alternativas, en un área determinada.*

La actividad anterior se puede utilizar con los asistentes a un curso de formación. Con ella se pretende que expongan primero algunas concepciones alternativas que conozcan y a continuación intenten elaborar cuestiones apropiadas para ponerlas de manifiesto, percatándose de las dificultades que conlleva dicho proceso. La actividad también se puede enfocar solicitando una búsqueda bibliográfica de algunos artículos en los que se traten ideas alternativas en distintos campos de la ciencia y, tras su lectura y discusión, la elaboración de posibles cuestiones que puedan servir para detectar tales ideas.

*Analizad la documentación suministrada por el profesor y comentad los resultados que se presentan a través de la misma.*

La actividad anterior consiste en analizar los contenidos del **anexo 2**, correspondiente a los resultados obtenidos en la utilización de un cuestionario sobre caída de graves y concepto de fuerza, que tiene la particularidad de haber sido pasado a alumnos de distintos niveles, justo después de que en sus clases se hubieran impartido los temas correspondientes (cinemática y dinámica). Con ello se trata (aunque no se diga aquí explícitamente) de dar datos en los que apoyar la tesis de que los errores conceptuales no se deben a simples olvidos de algo que fue aprendido correctamente en su momento. Conviene llamar la atención también, sobre la extensión y persistencia de los errores conceptuales, que reflejan los resultados obtenidos. El citado anexo 2 (u otro elaborado a tal efecto) puede utilizarse por los asistentes a un curso de formación didáctica para **replicar una investigación**, pasándolo a

alumnos de enseñanza secundaria muy poco tiempo después de que en clase se les hayan explicado los conceptos correspondientes.

*Estudiad la documentación que suministre el profesor tratando de identificar alguna concepción alternativa importante.*

Se trata de analizar el **anexo 3**, en el que se reproduce un mapa conceptual en el que se halla presente una de las concepciones alternativas analizadas anteriormente, con objeto de mostrar cómo los mapas conceptuales pueden revelarnos, en ocasiones, la existencia de este tipo de concepciones. Este mapa fue elaborado por un maestro en activo (asistente a un curso de formación) para ser trabajado con sus alumnos, sin que su autor se percatase del error cometido. Ahora, ese mismo error se utiliza como un elemento de aprendizaje en otros cursos de formación.

### 3. ¿CÓMO SE ORIGINAN Y PERSISTEN LAS IDEAS ALTERNATIVAS?

Como es lógico resulta del mayor interés recopilar y describir pormenorizadamente el mayor número posible de concepciones alternativas en todos los dominios científicos, Sin embargo es preciso no quedarse solo ahí. Como ya señalaban acertadamente Fisher y Lipson a finales de los 80:

"Queremos advertir en contra de la simple compilación de listas y descripciones de los errores cometidos por los estudiantes. Además de ello, es necesario ir más allá y realizar un considerable esfuerzo en distinguir entre concepciones alternativas persistentes y las fáciles de cambiar, para así poder descubrir algo acerca de las causas de las resistentes y, lo que es más importante, para diseñar estrategias efectivas con el fin de producir los deseados cambios conceptuales que hagan frente a tales concepciones".

Desde entonces, este interés en profundizar y avanzar más allá de los estudios meramente descriptivos, es algo que ha continuado reclamándose desde las principales revistas de didáctica de las ciencias.

En este proyecto nos plantearemos en primer lugar, un estudio de algunas explicaciones sobre el origen y persistencia de las ideas alternativas y luego nos centraremos en las posibles estrategias para el tratamiento de las mismas.

*Enumerad, a título de hipótesis, cuáles pueden ser las causas fundamentales relacionadas con el origen y/o la persistencia de las concepciones alternativas.*

Tanto el origen como la persistencia de las ideas alternativas en el campo de las ciencias, obedecen a diversas causas. Entre ellas podemos referirnos a:

- ✓ Influencia de las experiencias físicas cotidianas.
- ✓ Influencia del lenguaje de la calle, oral y escrito, tanto de las personas con que normalmente nos relacionamos como de los diferentes medios de comunicación (radio, televisión, cine, prensa, cómics, libros, etc.) con significados que pueden ser muy diferentes del científico.
- ✓ Existencia de graves errores conceptuales en algunos libros de texto.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

- ✓ Profesores que tienen las mismas ideas alternativas que sus alumnos o que desconocen este problema y, consecuentemente, no lo tienen en cuenta.
- ✓ Estrategias de enseñanza y metodologías de trabajo poco adecuadas.
- ...

A continuación trataremos de profundizar en algunas de las causas enumeradas.

### 3.1 Influencia de las experiencias físicas cotidianas

*La abundancia de ideas alternativas, reseñadas en prácticamente todos los dominios científicos, puede llevarnos a pensar que todas ellas son igualmente sólidas y difíciles de superar. Debatid esta hipótesis dando razones a favor o en contra de la misma.*

A lo largo de nuestra vida y comenzando ya desde la más temprana infancia, la mayor parte de las personas estamos sometidas, a través de la interacción de nuestros sentidos con el medio que nos rodea, a una serie de experiencias físicas comunes independientemente del medio social y cultural en el que nos desarrollemos. Así, por ejemplo, se observa que a menos que se esté empujando continuamente un objeto, éste acaba por pararse; que una piedra cae mucho antes que una pluma; que el vapor de agua y algunos globos llenos de gas se elevan, etc. El carácter muy reiterativo, sensorial y directo de dichas experiencias y, fundamentalmente, la forma habitual de interpretarlas mediante la utilización del pensamiento ordinario, conducen a elaborar determinadas explicaciones de esos hechos e interiorizarlas como evidencias incuestionables. Así se elaboran, por ejemplo, ideas tales como la asociación fuerza-movimiento, la creencia de que existe una proporcionalidad inversa entre la masa de un cuerpo y la duración de su caída, el convencimiento de que los gases no pesan, etc. Además, el hecho de que estas concepciones funcionen aparentemente bien y no lleven a resultados contradictorios en las experiencias personales que habitualmente se tienen en la vida diaria (cruzar una calle, jugar, hacer deporte, etc.), lleva a que se fijen en la mente con un vigor tal, que se convierten en verdaderas barreras epistemológicas, haciendo realmente difícil que se puedan apreciar las ventajas del punto de vista científico.

Un hecho especialmente relevante, que apoya la validez de esta hipótesis, es que sean precisamente las concepciones alternativas existentes en el campo de la mecánica, las más sólidas y duraderas, en función de que es en este campo donde las experiencias son, sin duda, más directas, reiterativas y globalizadoras, de tal forma que los niños, antes de recibir ninguna instrucción científica al respecto, tienen ya unas ideas previas (**preconcepciones**) bastante definidas acerca del movimiento y de las fuerzas. Ideas que, por otra parte, recuerdan bastante a ciertas concepciones que estuvieron vigentes en la física preclásica, conocida también -apropiadamente- como "la física del sentido común". Como ya señalaba Viennot:

“Factor de fracasos crónicos en la enseñanza, la mecánica es un campo en el que, tanto las experiencias cotidianas como el lenguaje corriente, pesan por completo”

No hay que olvidar que vivimos en un mundo en el que el rozamiento está omnipresente. La existencia de fuerzas de fricción en la mayoría de los fenómenos y experiencias cotidianas hacen necesaria la acción de otras fuerzas para que un cuerpo que está deslizando por una superficie no se pare y se mantenga en movimiento. La interpretación superficial de estos hechos conduce a interiorizar una idea de fuerza como causa del

movimiento que funciona aparentemente bien y que se fija en la mente como una evidencia de sentido común que para nada precisa ser cuestionada.

Las preconcepciones existentes en un dominio científico (y especialmente en el de la mecánica) no parecen ser unas cuantas ideas aisladas sino que, más bien, guardan entre sí una cierta coherencia interna que las refuerza. Ello explica que muchos autores se refieran a esquemas o marcos conceptuales alternativos. En cualquier caso, lo importante no es solo que los niños tengan determinadas preconcepciones, más o menos estructuradas, sino que la enseñanza habitual, tras muchos años insistiendo en los mismos problemas, apenas tenga incidencia sobre ellas y los alumnos, ya universitarios, no solo sigan arrastrando las mismas preconcepciones sobre mecánica que cuando estaban en la escuela, sino que además estén más seguros que al principio sobre su validez y las defiendan con mayor apasionamiento.

*Analizad los resultados que se presentan en el **anexo 4** con el fin de establecer en qué medida apoyan algunas de las ideas surgidas en la actividad anterior.*

El anexo 4, incluido al final del tema, resume los resultados obtenidos en una investigación realizada con el fin de estudiar las diferencias existentes en la evolución de diversas ideas alternativas. Los resultados obtenidos en ésta y en otras investigaciones posteriores, permiten salir al paso de la idea de que la existencia de concepciones alternativas profundamente arraigadas y difíciles de cambiar es general y afecta por igual a todos los campos del conocimiento científico. Por el contrario, existen profundas diferencias que muestran cómo las más persistentes son las que están más intensamente relacionadas con las experiencias personales cotidianas, dando lugar a evidencias incuestionables.

### **3.2. Influencia de la comunicación verbal, visual y escrita**

*Reflexionad sobre la posible influencia de los medios de comunicación social, en algunas concepciones alternativas citando, si es posible, algunos ejemplos relevantes.*

El lenguaje habitual está formado por palabras cuyo significado es fruto de las experiencias cotidianas vividas y sedimentadas por otras generaciones que nos han precedido, luego no es de extrañar que, en ocasiones, sea causa del origen o persistencia de ciertas ideas alternativas.

Una gran parte de los nombres con que se designan los conceptos científicos provienen de términos que ya eran utilizados en el lenguaje cotidiano antes de que tales conceptos fuesen contruidos y definidos de manera precisa por los científicos en la forma en que los conocemos ahora. Este es el caso, por ejemplo, de conceptos como: trabajo, calor, fuerza, polar, fase, reductor, animal, neutralización, velocidad, aceleración, etc.

Cuando un estudiante se encuentra en el aula o en los libros con un término que ya conoce por el lenguaje cotidiano es lógico que, de forma más o menos consciente, intente transferir el significado que se le da vulgarmente a su significado científico. El problema es que no siempre ambos significados son compatibles ya que hay veces que el primero apoya ciertas ideas alternativas bien conocidas.

Así, por ejemplo, en el lenguaje cotidiano, suele identificarse trabajo con esfuerzo y cansancio; este significado, apoya la idea alternativa de que se realiza trabajo sobre un

cuerpo solo cuando éste se desplaza bajo la acción de una fuerza capaz de vencer obstáculos que se oponen a ello. La idea de calor como una sustancia o como una energía, en definitiva, como algo que puede entrar o salir y pasar de unos cuerpos a otros, significado contradictorio con el científico (una forma de transferencia de energía, entre dos sistemas que se encuentran a distinta temperatura y, por tanto, un **proceso** como el trabajo y no algo que se tenga). El uso que se hace de fuerza como sinónimo de velocidad (iba muy fuerte por iba muy rápido o la fuerza que se le comunicó al lanzarlo por la velocidad inicial con que salió). El significado vulgar que se atribuye a términos tales como “sustancia pura” como producto natural (sin añadidos ni contaminantes) lleva a identificar como tales al agua de manantial, el aire limpio de la montaña o la leche recién ordeñada, que químicamente son mezclas de muchas sustancias. Análogamente, el significado que se suele dar a la palabra insecto, árbol o fruta en el lenguaje cotidiano lleva a identificar como tales a seres como las arañas, las palmeras o los higos (respectivamente), que no lo son. Podemos referirnos también a la costumbre de dotar de propiedades perjudiciales para el organismo a cualquier ácido, considerar que todos los ácidos son fuertes, identificar neutro con inocuo o inerte, a la expresión habitual de que tras un sueño “reparador” el cuerpo “recarga las pilas” o recupera la energía perdida (apoyando la creencia de que descansar es una forma de proporcionar energía al organismo), etc.

Naturalmente, el hecho de que en el lenguaje cotidiano el significado de las palabras no sea tan preciso como en el lenguaje científico no debe interpretarse como algo negativo. En efecto, el que esto ocurra facilita la necesidad que tenemos las personas de comunicarnos. Proceso que si nos empeñásemos en hacer evitando a toda costa cometer ningún error conceptual, resultaría, cuando menos, bastante restrictivo y complicado. Parece, pues, necesario, separar y saber distinguir el lenguaje normal del lenguaje científico; en otras palabras: lo grave no es que alguien diga que "el Sol sale por detrás de aquellas montañas" o “cierra la puerta que se escapa el calor”, lo preocupante sería creyese que realmente eso es así, después de haber estudiado los conocimientos científicos pertinentes y lo utilizase en un contexto científico.

Así pues, el enfrentamiento que a veces se produce entre algunas expresiones del lenguaje cotidiano y la terminología científica, constituye una dificultad que merece ser tomada en cuenta. El alumno ha de ser consciente de las diferencias entre estas dos formas de comunicación y de cuándo usa una u otra.

Otra cuestión, es el papel que juegan a veces determinadas creencias muy arraigadas en gran parte de la sociedad, como sería, por ejemplo, la de que resulta peligroso dormir en una habitación si dentro hay alguna planta. Esta, junto con la idea (correcta) de que las plantas verdes durante el día suministran oxígeno (fotosíntesis), lleva a pensar que las plantas tienen dos modos de respiración diferentes, según sea de noche o de día, y además que, al menos su respiración nocturna, debe ser muy intensa y en consecuencia consumen mucho oxígeno, ya que, como todo el mundo sabe, casi nadie consiente en dormir al lado de un simple geranio y si hay una planta en el dormitorio, por la noche se saca fuera. Sin embargo, hacer lo mismo con el compañero o compañera de cama no es un suceso tan frecuente, (al menos por esta causa).

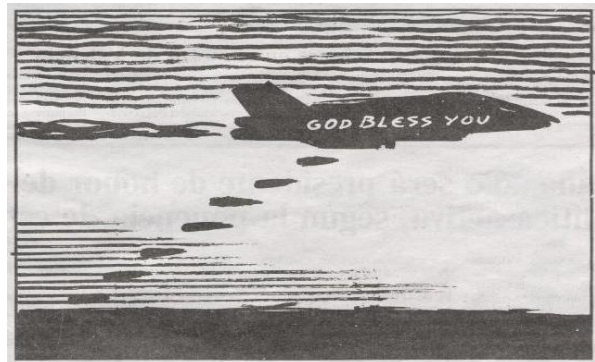
Finalmente, nos referiremos también a que en los medios de comunicación social como la televisión y la prensa escrita a los cuales, en principio, cabe exigirles un cierto rigor, se dan con cierta frecuencia noticias que contienen claros errores conceptuales.

Podemos referirnos, por ejemplo, a la información, ya recurrente, de que los tripulantes de un satélite en órbita alrededor de la Tierra se encuentran en estado de ingravidez o bien que en la estación espacial se van a realizar experimentos para comprobar como afecta la **ausencia de gravedad** a tal o cual cosa. Todo ello apoya sin duda la idea que tienen muchas personas de que en el espacio no hay gravedad. Así, por ejemplo, quienes leyeron el diario “El País” el 18 de octubre de 2003, se enteraron de que en la misión espacial “Cervantes” se iban a realizar en el espacio, a 390 km de la superficie terrestre, una serie de experimentos tales como:

- “Análisis en condiciones de ingravidez, de los genes de la mosca de la fruta”
- “Reacciones del organismo humano a las condiciones de microgravedad”

Tampoco faltan los errores conceptuales que tienen que ver con la fuerza como causa del movimiento.

A continuación, a modo de ejemplo, se reproduce uno de ellos (una viñeta del dibujante “El Roto” publicada en el diario “El País” de 9 del noviembre de 2004).



*¿Qué idea alternativa puede apoyar la viñeta anterior?*

Si consideramos el rozamiento con el aire nulo o poco importante (dada la forma aerodinámica de las bombas), cuando se suelta un proyectil desde un avión no puede pensarse que, al dejar de tener contacto con el aparato, el proyectil pierde automáticamente la velocidad horizontal que llevaba (respecto de un observador terrestre) para caer verticalmente y, en consecuencia, quedar retrasado respecto del avión. Si embargo para muchas personas, el estado natural de los cuerpos pesados, como piedras o proyectiles, es el reposo. Ello lleva a pensar que los proyectiles van quedando cada vez más retrasados, en lugar de todos en línea recta y debajo del avión (en un instante dado) y que este efecto se produciría aunque no existiese ninguna fricción con el aire.

Otro medio en el que se puede constatar la presencia de alguna idea alternativa importante es el cine. Como ejemplo, podemos citar la idea de que un rayo de luz se puede ver igual que vemos habitualmente cualquier objeto ordinario (espadas de luz láser de la saga de la guerra de las galaxias).

En la publicidad, para vender más, se asegura que un determinado producto tiene tales o cuales cualidades, invocando a veces a la ciencia como fuente de autoridad y certeza. Sin embargo, en muchas ocasiones, los conceptos científicos que aparecen en la publicidad se utilizan de forma inadecuada, llegándose en algunos casos a cometer errores conceptuales muy claros como, por ejemplo, afirmar textualmente que el aire no pesa en un anuncio de un postre lácteo con una textura determinada (mousse de yogur).

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

Los errores conceptuales se pueden detectar también en la literatura. Así, por ejemplo, en la conocida novela de Alejandro Dumas “El conde de Montecristo” en el pasaje en que el protagonista se fuga de la prisión haciéndose pasar por el cadáver de su amigo, se dice textualmente:

¿Y no se volvió a oír hablar del preso? –preguntó.

-Nunca, nunca jamás. Comprenderá usted que o lo uno o lo otro: o bien cayó de plano y, como caía desde unos cincuenta pies, se mataría en el acto o bien cayó de pie ...

-Ha dicho que le habían atado una bala de cañón a los pies. Caería por tanto de pie.

Podemos ver que, la idea alternativa de que los cuerpos más pesados llegan antes al suelo, lleva a pensar al personaje que el protagonista de la historia cayó de pie al mar desde lo alto de la torre (arrastrado por la pesada bala de cañón) y que, gracias a ello, no se mató del golpe. Esta idea se refuerza todavía más, cuando en alguna edición se ilustra el pasaje con un dibujo, en el que se puede ver claramente cómo la bala de cañón se sitúa debajo del cuerpo del protagonista.



Naturalmente, los errores conceptuales se pueden encontrar, con mucha mayor frecuencia, en otros medios más informales o de entretenimiento, como son las historietas o cómics. Esto es lo que ocurre en el siguiente ejemplo, en el que se apoya la idea de que los seres humanos prehistóricos convivían con los dinosaurios. Se trata de una idea bastante común, fomentada también por otros medios como los dibujos animados, por ejemplo, en la serie de los “Picapiedra”.



Podría argumentarse que el lenguaje cotidiano no es el lenguaje científico y que, consecuentemente, a los medios de comunicación no se les puede exigir el mismo rigor científico que a las revistas especializadas y menos todavía a aquellos medios que sirven fundamentalmente de entretenimiento, como son los cómics. No obstante, aquí no se pretende reivindicar ningún cambio en los cómics recreativos, sino tan solo buscar explicaciones a una situación y, si fuera posible, aprovechar estos mismos medios como un instrumento más de aprendizaje.

*Analizad el **anexo 5** incluido al final del tema, explicando qué ideas alternativas pueden ser responsables de los distintos errores conceptuales que pueden apreciarse en el mismo.*



Por otra parte, donde sí hay que pedir un cierto rigor científico, es en los libros de texto que se utilizan en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Sin embargo, también en algunos de ellos se cometen graves errores conceptuales.

### 3.3. Libros de texto que contienen graves errores conceptuales

El problema puede ser considerado en dos vertientes. Por un lado las concepciones alternativas relacionadas con el hecho de que en el texto no se proporcione ninguna información con el propósito de cambiarlas o que ésta se dé deficientemente, de forma incompleta. Por otro, el que en algunos libros de texto se hallen presentes también, de forma explícita, graves errores conceptuales, lo cual es (afortunadamente) menos frecuente, pero no menos importante si tenemos en cuenta el elevado número de alumnos que pueden llegar a utilizar un libro de texto dado.

Las siguientes frases textuales pertenecen a distintos libros de Enseñanza Secundaria:

“El peso del esquiador se reparte por los esquís y se hunde poco; la presión es menor que el peso”

“La velocidad es el espacio recorrido en la unidad de tiempo”

“Al ejercer una acción sobre un cuerpo, en él aparece una fuerza de reacción igual y contraria a ella”

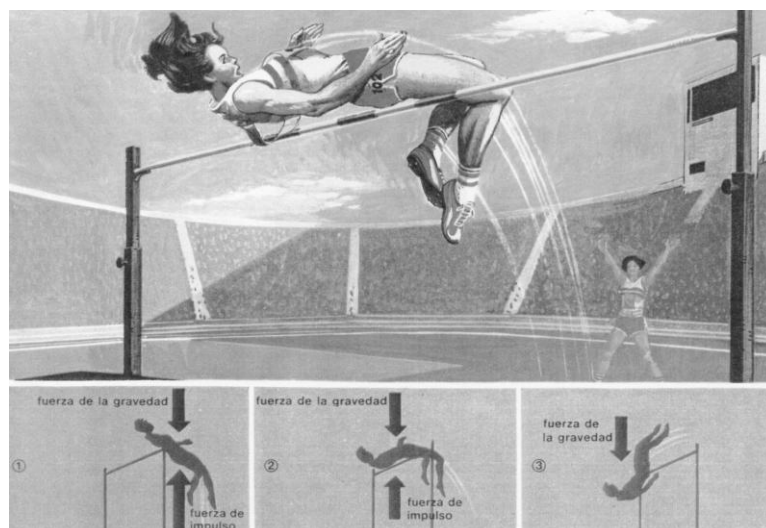
“Se pasan los moles de CaO obtenidos a gramos utilizando la masa molecular del óxido”

“Todo cuerpo material tiende a moverse en la dirección de la fuerza aplicada”

“La mayoría de los animales acuáticos, como los peces, no respiran aire sino agua”

También hay que tener en cuenta la existencia de muchas expresiones “desafortunadas” como: “la cantidad de calor almacenada por un cuerpo” o “el calor es una forma de energía”. Dichas expresiones, refuerzan la idea de calor como una forma de energía y no como un proceso de transferencia de energía de un sistema a otro.

Conviene insistir que en todo momento estamos hablando de errores conceptuales graves y no de confusiones, explicaciones poco adecuadas, u otro tipo de fallos o carencias que en mayor o menor medida afectan a cualquier libro de texto. Los errores conceptuales graves también se pueden detectar en algunas fotos y figuras, como la siguiente:



En los tres pequeños recuadros de la parte inferior de la figura anterior se dibujan dos fuerzas. La una se designa como fuerza de la gravedad mientras que la otra (hacia arriba) como fuerza de “impulso”. En ellos se puede ver cómo se utiliza la idea de fuerza en un sentido que recuerda bastante a la idea escolástica del “ímpetus”. En efecto, según esta idea, cuando la saltadora está subiendo lo hace porque la fuerza con que se impulsó supera a su propio peso. El peso no cambia, pero la fuerza del impulso no desaparece al perder contacto con el suelo sino que, de alguna manera, queda grabada en el cuerpo y se va “gastando” progresivamente ya que se emplea precisamente en subirlo. Justo cuando llega arriba ambas fuerzas se han igualado, anulándose la fuerza de ascenso y después, cuando ya está cayendo, la única fuerza que queda es el peso. De esta forma se refuerza explícitamente la idea de fuerza como causa del movimiento (la saltadora sube mientras que la fuerza del impulso siga siendo mayor que el peso) y se explica un movimiento en contra del estado natural de los cuerpos pesados (en el suelo y en reposo). El problema es que todo ello se hace desde... un libro de texto de física y química para alumnos de secundaria.

*Proceded a realizar un análisis crítico y detallado de los contenidos del **anexo 6**, prestando especial atención a la existencia de posibles errores conceptuales.*

Los contenidos a que se refiere la actividad anterior son copias de algunas páginas de libros de texto y artículos de revista, en las que se han detectado graves errores conceptuales. Conviene tener en cuenta que, en muchos casos, los errores conceptuales presentes en libros de texto, no hay que atribuirlos a los autores sino a los dibujantes y a la propia editorial que ponen ilustraciones y comentarios a las mismas, sin consultar previamente con dichos autores. No ocurre lo mismo en el caso de los dos artículos (publicados en una revista de investigación didáctica) donde, al parecer, pasaron totalmente inadvertidos dos graves errores sobre el concepto de fuerza (en la figura 10 de la última página del anexo, por ejemplo, las fuerzas, una vez realizadas han quedado impresas en la niña y el carrito, apoyando la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento).

Algo bastante extendido en los libros de texto es ignorar de hecho la existencia de ideas alternativas que afectan a distintos conceptos básicos y, consecuentemente, no suelen incluir actividades que permitan su detección ni su cuestionamiento. Así, por ejemplo, es posible explicar directamente el concepto de fuerza de la mecánica clásica, pasando por alto completamente la idea intuitiva de fuerza y también es habitual que, cuando se incluyen modelos históricos, como el calórico para explicar los fenómenos caloríficos, o el de Lamarck para explicar el cambio biológico, se limiten a tratarlos meramente como algo ya pasado, sin tener en cuenta que también algo similar a esos modelos pueden tener los alumnos en la cabeza cuando piensan en el calor o la selección natural. Sin duda, una mayor formación docente en historia de la ciencia, para ilustrar el origen y la evolución de determinados conceptos como selección natural, fuerza, calor, sustancia, elemento, ácido, etc., podría ayudar a cuestionar algunas ideas alternativas y a una mejor comprensión de los significados de tales conceptos en un contexto dado.

Llegados a este punto, se puede plantear como actividad investigadora la *búsqueda de errores conceptuales presentes en prensa, revistas, novelas, cómics y libros de texto, analizando las posibles ideas alternativas con las que se hallan conectados*. Dichos errores pueden formar una colección de material gráfico y escrito que posteriormente se puede utilizar para el tratamiento de las ideas alternativas (como veremos al final de este tema).

### 3.4. Metodología utilizada en el proceso de enseñanza y aprendizaje

Sabemos que muchas concepciones alternativas se hallan extraordinariamente difundidas, representando una manera de pensar espontánea que podemos encontrar en cada conversación y en muchas lecturas. El problema es que esta situación se dé también entre los mismos profesores que han de enseñar ciencias ya que, parece evidente, que aquellos que tengan determinadas concepciones alternativas difícilmente podrán ayudar a sus alumnos a superarlas. Es, pues, necesario, garantizar una sólida y adecuada formación científica inicial en la materia específica correspondiente a todos aquellos futuros profesores que la vayan a impartir. No obstante, ocurre que:

*El requisito de una sólida formación científica, aunque imprescindible, en modo alguno puede ser suficiente, ya que es posible que muchos profesores tengan una sólida formación científica y, a pesar de ello, no tengan en cuenta en sus clases la posible existencia de concepciones alternativas entre sus alumnos. ¿Cómo se explica esto?*

En primer lugar hemos de señalar que, desafortunadamente, una sólida formación científica, no implica siempre que vaya acompañada de la formación didáctica adecuada, y, a menudo, simplemente se ignora la existencia de tales concepciones alternativas. Podemos encontrar así profesores que piensan que los alumnos no tienen ningún conocimiento previo de física y que por lo tanto el problema consiste en que los asimilen a partir de cero. En consecuencia, de lo que hay que preocuparse es de explicar claramente, de que los contenidos sean adecuados a la edad del alumno, etc., pero no de la existencia de posibles ideas previas que pueden actuar como obstáculos para el aprendizaje de ciertos conocimientos. Por otra parte, también hay profesores que conocen el hecho de que sus alumnos pueden tener ciertas ideas equivocadas respecto a determinados conceptos, pero ignoran que algunas de ellas pueden ser muy resistentes al cambio y piensan que pueden ser fácilmente modificadas al explicar a los alumnos los conocimientos científicos actuales.

Otro aspecto importante sobre el que debemos insistir es la necesidad de un mayor conocimiento de la historia de la Ciencia (que debería ser parte de esa formación científica). Ya hemos comentado anteriormente la similitud existente entre algunas preconcepciones de los alumnos y ciertas ideas que se desarrollaron en determinados periodos de la historia de la Ciencia. Los ejemplos son numerosos y afectan a diferentes campos (movimiento, dinámica, calor, óptica, herencia biológica, etc.). Un conocimiento respecto a cómo se desarrollaron y cambiaron los conocimientos científicos, los obstáculos que hubieron de superarse, las controversias en que se vieron envueltos muchos de ellos, etc., puede ayudar a comprender muchas de las preconcepciones de los alumnos y lo que es más, puede arrojar alguna luz sobre cómo cambiarlas. En otras palabras: un profesor que conozca la vigencia, el alcance y las características fundamentales que tuvieron, por ejemplo, la física aristotélico-escolástica, el calórico, el flogisto, las ideas de Lamarck, el vitalismo, etc., estará mucho más receptivo cuando en su clase surjan ideas que relacionen la fuerza con la velocidad, el calor con una sustancia (o una energía), dificultades respecto a la comprensión de la constancia de la masa en determinadas transformaciones, etc., y tendrá mejores elementos de juicio para comprender la persistencia de tales ideas y plantearse su proceso de cambio hacia las que trata de enseñar.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

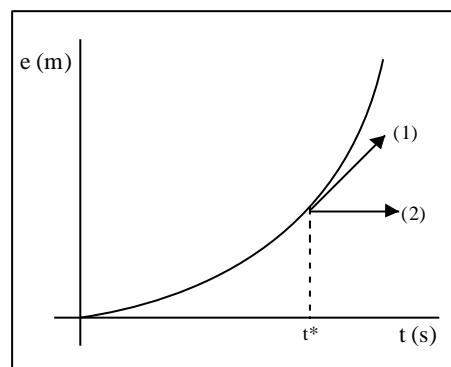
En ocasiones nos encontramos con ideas que se detectan a partir de un cierto nivel educativo; que guardan una cierta relación, más o menos directa, con algún concepto científico y que llevan a cometer determinados tipos de error con bastante seguridad, pero que sin embargo no existen ya elaboradas antes de la etapa escolar, ni tampoco se suelen dar como tales en personas sin ninguna cultura científica. En este sentido, decimos que son concepciones alternativas pero no preconcepciones. A continuación trataremos de aclarar esta diferencia.

*Contestad las cuestiones siguientes y después señalad alguna diferencia importante entre éstas y la mayoría de las que hemos venido estudiando hasta ahora.*

Las cuestiones a que se refiere la actividad anterior son:

1. La gráfica adjunta representa la posición de un móvil en función del tiempo. Su velocidad en un instante dado  $t^*$  de su movimiento se podrá representar por:

- a) El vector (1)
- b) El vector (2)
- c) Otra respuesta (especificar)
- d) No lo sé



2. Si se lanza un cuerpo verticalmente hacia arriba desde el suelo, el valor de la aceleración de la gravedad "g" para el movimiento de subida, en las ecuaciones cinemáticas  $e = f(t)$  y  $v = f(t)$ , deberá ponerse como:

- a) Positivo. b) Negativo. c) Otra respuesta (especificar). d) No lo sé

3. Contestar verdadero, falso, o no lo sé, a la izquierda de cada una de las siguientes proposiciones (en todos los casos se manejan disoluciones acuosas):

- a) Siempre que midamos el pH de una disolución y éste sea igual a 7, decimos que se trata de una disolución neutra.
- b) El pH de una disolución en algunos casos puede tomar un valor negativo
- c) A igualdad de restantes condiciones el ácido acético, si está muy concentrado, puede llegar a ser más fuerte que el ácido clorhídrico muy diluido.
- d) Un ácido puede reaccionar totalmente con una base, sin que sobre nada de ninguno de los dos, y resultar que la disolución final no es neutra.

4. Según el modelo atómico de Bohr el ión  $H^+$  consiste básicamente en:

- a) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente.
- b) El núcleo del átomo de hidrógeno y una sola órbita vacía.
- c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías.
- d) No lo sé

En las cuestiones anteriores, respuestas científicamente aceptables son: 1c (la gráfica no representa la trayectoria seguida por el móvil); 2c (si tomamos como origen de espacios el suelo y sentido positivo hacia arriba el valor de  $g$  será negativo tanto al subir como al bajar; por el contrario, si escogemos como sentido negativo hacia arriba, el valor de  $g$  será positivo, tanto al subir como al bajar); 3a falso (solo si la temperatura es  $25^{\circ}\text{C}$ ), 3b verdadero (basta con que la concentración de  $\text{H}_3\text{O}^+$  sea mayor de 1 M), 3c falso (aunque el ácido clorhídrico esté muy diluido éste será más fuerte que el acético y siempre será capaz de desplazarlo de sus sales), 3d verdadero (a condición de que se formen iones que puedan experimentar reacciones de transferencia de protones con el agua); 4a ( la órbita no es algo material que tiene existencia real independiente de que haya o no electrones que se muevan por ella).

Cuando se pasa el cuestionario anterior a alumnos o, incluso, a profesores de ciencias en formación, el número de respuestas erróneas suele ser muy elevado ya que hay muchos que confunden las gráficas e-t y v-t con la trayectoria realmente seguida por el móvil, otros están convencidos de que siempre que un objeto sube libremente hacia arriba sometido tan solo a la acción de la gravedad,  $g$  toma un valor negativo (y al contrario cuando baja), también son numerosos quienes piensan que existen órbitas vacías (¿de qué están hechas?), etc. Se trata de ideas distintas a las ideas científicas que tratamos de enseñar, ampliamente extendidas y asumidas como correctas con bastante convencimiento por quienes las detentan, lo que nos lleva a calificarlas como verdaderas ideas alternativas.

Sin embargo, si pasamos estas mismas cuestiones a alumnos de primeros cursos de ciencias o bien a personas que no tienen apenas una cultura científica, la respuesta más abundante será “no lo sé”, no habrá idea alternativa simplemente porque... no habrá ninguna idea al respecto. Ello nos lleva a afirmar que esas ideas alternativas no son pre-concepciones, en el sentido de que no son ideas que ya existen como tales en la mente del alumno antes de que comience a estudiar los contenidos científicos correspondientes. Por el contrario, es en el propio medio escolar o, más precisamente, en la metodología utilizada en la enseñanza de las ciencias y en su aprendizaje, donde hay que buscar el origen y persistencia de estas ideas alejadas de las experiencias cotidianas de los alumnos. Esta conclusión tiene una gran importancia ya que, como veremos más adelante, reorienta la búsqueda sobre el origen y persistencia de las ideas alternativas hacia la exploración de posibles fallos y carencias de tipo metodológico.

*Proceded a una recapitulación de todo lo tratado hasta aquí señalando qué hemos avanzado respecto de los problemas inicialmente planteados en el tema y qué otros nos quedan por tratar.*

El problema de los errores conceptuales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, sigue siendo en la actualidad una potente línea de investigación didáctica, como lo demuestra la gran cantidad de estudios realizados y otros que se siguen haciendo sobre estos temas.

Hasta aquí hemos analizado ejemplos concretos de ideas alternativas viendo cómo afectan a conceptos y principios fundamentales, como por ejemplo: fuerza, gravitación, fotosíntesis, intensidad de corriente eléctrica, heredabilidad de caracteres, principio de acción y reacción, conservación de la masa, calor, etc., mostrando algunos instrumentos que se pueden utilizar para la detección de tales ideas.

Hemos visto también que, tanto el origen de las ideas alternativas como la notable persistencia de algunas de ellas, se pueden explicar, en parte, si consideramos el papel determinante que en ello tienen las experiencias físicas cotidianas, el lenguaje de la calle y los distintos medios de comunicación, la existencia de errores conceptuales en algunos libros de texto y otros aspectos de tipo metodológico.

Sin embargo, como ya hemos insistido, el principal interés de las investigaciones sobre las concepciones alternativas no reside en el conocimiento detallado de cuáles son dichas concepciones en cada uno de los campos o dominios científicos, aun cuando dicho conocimiento siga siendo hoy, en nuestra opinión, imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración fundamentada de un nuevo modelo para la introducción de los conceptos científicos y el aprendizaje de las ciencias. Concretamente, la emergencia del constructivismo en lo que es la Didáctica de las Ciencias, está directamente relacionada con las aportaciones de las numerosas investigaciones realizadas en torno a las ideas alternativas sobre conceptos científicos.

#### 4. EL APRENDIZAJE COMO CAMBIO CONCEPTUAL

*Proponed, a título de hipótesis, algunas estrategias para conseguir incidir significativamente en el problema de los errores conceptuales.*

Los participantes en cursos de formación, suelen referirse aquí entre otras cosas a la necesidad de conocer cuáles son las ideas alternativas más importantes y a que el profesor las tenga en cuenta diseñando su enseñanza con el propósito explícito de cambiarlas. Conviene entonces señalar que esto es precisamente lo que llevó a que importantes investigadores en este campo comenzasen a hablar de **estrategias de cambio conceptual**. En este sentido, el profesor puede completar las propuestas, añadiendo información sobre algunos aspectos, como los que a continuación se detallan:

Durante una primera etapa los errores conceptuales cometidos por los alumnos fueron vistos como obstáculos a derribar, algo contra lo que luchar, etc. No obstante pronto se constató el fracaso de la enseñanza habitual para superar el problema. Así mismo, el estudio de los errores conceptuales se fue desplazando hacia el de las concepciones alternativas que los causaban. Los resultados obtenidos mostraron que dichas concepciones no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que, en general, se hallan integradas en la mente del sujeto formando verdaderos esquemas conceptuales, dotados de una cierta solidez y coherencia interna. Estos esquemas ya no son vistos como errores o como algo negativo, sino como estructuras cognitivas que interaccionan con la información que llega desde el exterior y que juegan un papel esencial en el aprendizaje. Se habla así de esquemas conceptuales que van desde campos como la Mecánica a la misma Nutrición y de estrategias diseñadas para cambiar tales esquemas.

Hewson y Thorley a finales de los años 80, enumeraban las condiciones que se requieren para conseguir cambios conceptuales. Podemos resumirlas diciendo que cualquier concepción tiene un cierto "estatus" caracterizado por el grado de **inteligibilidad, plausibilidad y utilidad** con que es percibida por quien la detenta. En el momento en que un alumno considera una concepción nueva, que entra en contradicción con alguna de las que ya tiene, su aceptación plena requiere que el estatus de la nueva crezca mientras que

el de la antigua disminuya. Para ello, es preciso que las concepciones iniciales sean vistas como inadecuadas, como dificultades que bloquean un mayor aprendizaje. Una cuestión fundamental es pues, cómo conseguir ese cambio de estatus. Según Hewson, es preciso conocer el grado de estatus que una concepción determinada tiene para el alumno en un momento dado, incluyendo no solo el contenido que para él tiene esa concepción sino también sus opiniones, sentimientos y actitudes en torno a la misma. Según este autor, una forma de conseguir esto puede ser a través de entrevistas y diálogos en donde cada cual exprese sus ideas y las comente. En cuanto a los profesores, opina que deberían de ser capaces de hacer dos cosas: diagnosticar las concepciones que sus alumnos usan para interpretar los fenómenos y controlar el estatus de las viejas y de las nuevas concepciones. Este control, en una fase posterior, convendría que fuese realizado por los mismos estudiantes.

Por otra parte, Rosalind Driver, también a finales de los 80, propuso un modelo para la enseñanza de las ciencias basado en el cambio conceptual. Dicho modelo se halla estructurado en torno a una secuencia de actividades específicamente elaboradas para conseguir dicho cambio. La secuencia constaba esencialmente de cuatro fases:

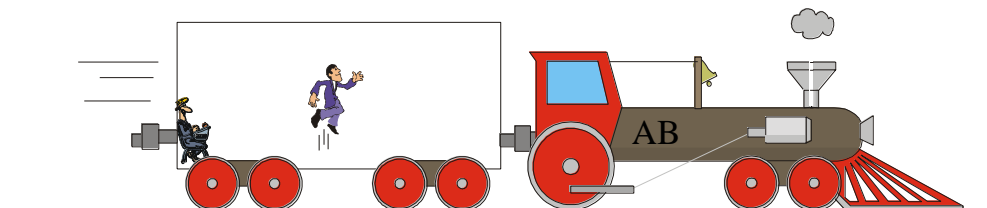
- ✓ **Orientación:** Destinada a despertar la atención y el interés de los alumnos por el tema.
- ✓ **Explicitación:** Consiste en la exposición por los alumnos de sus ideas.
- ✓ **Reestructuración:** Donde han de modificarse las ideas de los alumnos por medio de diferentes estrategias, que pueden incluir el uso combinado de contraejemplos o actividades destinadas a provocar insatisfacción con las propias ideas, modelos, analogías, diseño de experiencias para ayudar a clarificar y diferenciar ideas, etc. Dentro de esta fase se incluye también la propuesta de diversas actividades para que los alumnos prueben y apliquen sus concepciones revisadas.
- ✓ **Revisión del cambio de ideas:** Se trata de comparar las nuevas ideas con las iniciales, mostrando el mayor poder explicativo de las primeras respecto de las segundas.

Una cuestión a tener en cuenta es la necesidad de elaborar y de aplicar materiales curriculares concretos a través de los cuales los profesores puedan desarrollar estrategias de cambio conceptual a lo largo de un curso escolar, ya que los ejemplos a los que referirse no son muy abundantes y aunque los profesores sean plenamente conscientes del problema y quieran avanzar en su solución, no están tan seguros de cómo proceder en clases masificadas y sin otro material de apoyo que el libro de texto.

Las estrategias de cambio conceptual propuestas por Driver fueron posteriormente usadas por otros investigadores para introducir en ellas algunos matices y para hacer sus propias propuestas al respecto. No obstante, cuando se han intentan llevar a la práctica, incorporándolas al proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, suele ocurrir que los resultados no son tan buenos como en principio cabía esperar, ya que el cambio conceptual conseguido es ilusorio o poco duradero, como lo demuestra el hecho de que poco tiempo después del “tratamiento” los alumnos vuelven a cometer los mismos errores conceptuales que al principio. Este fenómeno se detecta especialmente cuando plantean preguntas en las que están involucrados los mismos conceptos científicos pero en contextos o situaciones diferentes a las que se usaron en el “tratamiento”. A continuación se intenta aclarar lo que estamos diciendo mediante el estudio de un ejemplo concreto.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

1ª) Una persona se encuentra en el centro de un vagón de tren que se mueve sobre una vía recta con movimiento uniforme y a gran velocidad. Otro pasajero ve que, en un instante dado, da un salto vertical y hacia arriba. ¿En qué zona del vagón caerá?



a) En el mismo lugar que estaba. b) Más adelante de donde estaba. c) Más atrás de donde estaba

Como es lógico la respuesta científicamente aceptable a la cuestión anterior es que, en las condiciones que se especifican en el enunciado, la persona caería siempre en el mismo punto del suelo del vagón desde donde inició el salto ya que su velocidad horizontal respecto de la vía no se ve alterada por el movimiento vertical respecto del suelo del vagón. No obstante, algunas personas (sobre todo niños), piensan que al perder contacto con el tren el pasajero deja de avanzar inmediatamente, por lo que caerá retrasado respecto del lugar del vagón donde inició el salto (tanto más cuanto más alto salte y más rápido se mueva el tren). Se trata de una idea intuitiva coherente con el esquema conceptual de fuerza como causa del movimiento (de la velocidad) tomando el propio espacio como sistema de referencia en reposo absoluto. La misma idea hace pensar que cuando se suelta un objeto desde un avión en pleno vuelo, dicho objeto quedará retrasado respecto del movimiento horizontal del avión. El razonamiento consiste esencialmente en pensar que perder contacto con el tren implica que cesa la fuerza que “lo mantiene en movimiento” y, por tanto, cesa inmediatamente ese movimiento según la horizontal.

Es posible utilizar estos ejemplos del tren o del avión junto con estrategias de enseñanza basadas en el cambio conceptual y pensar que los alumnos, finalmente, admiten que el movimiento rectilíneo y uniforme es un estado tan natural como pueda ser el reposo y que, cuando el pasajero salta hacia arriba desde el centro del vagón, no por ello pierde ni modifica de ninguna manera la velocidad horizontal que llevaba. Sin embargo, también es posible que, cuando posteriormente proponemos una cuestión como la que se expone seguidamente, nos veamos obligados a revisar esa conclusión.

2ª) Tres estudiantes van corriendo en línea recta uno detrás de otro. En un instante dado ven que el que va delante lanza una bola verticalmente hacia arriba. ¿De qué dependerá el que ésta sea recogida por uno u otro?





A la pregunta anterior se puede responder aceptablemente de diversas formas. Así, por ejemplo, se puede decir que dependerá del rozamiento con el aire o de si alguno o algunos de los corredores cambian de velocidad, pero también es posible volver a cometer un error conceptual reflejo de una idea alternativa que se creía ya superada. Nos referimos concretamente a quienes afirman que el que la bola sea recogida por uno u otro corredor dependerá de cosas como: “la fuerza con que se lance la bola”, “la altura que alcance”, el tiempo que permanezca en el aire, etc. Este tipo de respuestas revela que la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento todavía sigue vigente, no ha evolucionado de forma efectiva hacia el concepto newtoniano de fuerza según el cual, si se considera el rozamiento con el aire despreciable, no cambiará la componente horizontal de la velocidad de la bola por lo que, independientemente de la velocidad inicial con que se lance, siempre será recogida por el estudiante que la lanzó (si mantienen la velocidad a la que corren constante).

Conviene tener en cuenta que el problema planteado en este tipo de cuestiones fue, históricamente, uno de los argumentos esgrimidos en contra de la teoría heliocéntrica de Copérnico, cuando sus detractores afirmaban que, si fuese cierto que la Tierra se mueve alrededor del Sol a la vez que gira sobre si misma, cuando dejásemos caer una piedra desde lo alto de una torre no podría caer perpendicularmente, el alcance de los proyectiles sería distinto hacia el este que hacia el oeste, las nubes quedarían retrasadas, etc.

Esta dificultad para cambiar ciertas ideas alternativas de los estudiantes, incluso aun cuando se utilizan estrategias de enseñanza orientadas explícitamente al cambio conceptual, ha sido denunciada reiteradamente por distintos autores desde hace ya mucho tiempo. Las dificultades encontradas muestran la necesidad de profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de ideas alternativas y las estrategias de cambio conceptual.

## **5. EL APRENDIZAJE COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO**

Sabemos que algunas preconcepciones de nuestros alumnos (caída de graves, naturaleza y comportamiento de los gases, concepto de fuerza, calor, generación espontánea, selección natural, etc.), recuerdan a ciertas ideas que tuvieron lugar en determinados periodos de la historia de la ciencia. Este paralelismo, puesto de manifiesto reiteradamente por diversos autores, tiene importantes consecuencias didácticas.

*¿Cuales serían en vuestra opinión las implicaciones didácticas que, con vistas a superar el problema de las concepciones alternativas, tiene el paralelismo citado en el párrafo anterior?*

En primer lugar, estaría la necesidad de conocer los esquemas conceptuales de los alumnos y diseñar estrategias eficaces para modificarlos, modificación que en algunos casos, al igual que ocurrió con el cambio de paradigma Aristotélico-Escolástico por el Newtoniano (salvando las distancias), resultará difícil y precisará tiempo. Desde este punto de vista, promover el cambio conceptual implicaría situar al estudiante en una nueva y más productiva situación paradigmática. En segundo lugar, podemos intentar profundizar un poco más y plantearnos a qué se debe el paralelismo citado y cómo pudo realizarse el cambio de paradigma. Se trata esta de una cuestión que presenta un gran interés ya que no solo puede suministrar una valiosa información acerca del origen de

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

---

las concepciones alternativas, sino que además puede ser de gran utilidad a la hora de diseñar estrategias adecuadas para conseguir cambios conceptuales más profundos y duraderos.

*¿A qué puede deberse la similitud existente entre las preconcepciones de mecánica que tienen nuestros alumnos y algunas ideas presentes en la física aristotélico-escolástica?*

El hecho de que nuestros alumnos tengan en mecánica ideas similares a las concepciones aristotélico-escolásticas, no puede ser en modo alguno fruto de la casualidad, sino que debe responder a causas también similares. Dichas causas hay que buscarlas, fundamentalmente, en la tendencia a extraer conclusiones precipitadas, hacer generalizaciones acríticas basándose en observaciones meramente cualitativas, realizar análisis superficiales, etc. Es decir, en lo que hemos denominado "metodología de la superficialidad" o "metodología del sentido común". Es precisamente esta metodología la que lleva a Aristóteles a escribir textualmente que:

"Un peso dado cubre una distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en menos tiempo estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así si un peso es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en un movimiento dado".

La misma metodología es la que conduce a nuestros alumnos a pensar, análogamente, que los cuerpos cuanto más pesados más aprisa caen o que los gases no pesan, que los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza resultante, que las plantas por la noche respiran al contrario que por el día, etc. **Lo esencial, pues, no es que algunas ideas alternativas de los alumnos tengan un cierto parecido con ciertas concepciones, vigentes durante determinados periodos de la historia de la ciencia, sino que la metodología que está en el origen de ambas se asemeje.**

Esta reflexión tiene, para nosotros, una importancia crucial ya que permite profundizar y avanzar en el estudio de las concepciones alternativas. En efecto, no debe olvidarse que las ideas presentes en la física "del sentido común" estuvieron vigentes durante siglos y solo pudieron ser superadas cuando se produjo un cambio metodológico que vino a superar las evidencias aparentes, introduciendo una forma de pensamiento a la vez más creativa y rigurosa. Una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis (poniendo en cuestión lo que se daba por obvio), a someter estas hipótesis a su contrastación empírica en condiciones cuidadosamente controladas, a analizar críticamente los resultados, etc., es decir, cuando comenzó a aplicarse una forma de trabajo que hoy calificaríamos como metodología científica.

### 5.1. ¿Por qué el cambio conceptual puede ser tan difícil de conseguir?

*Elaborad una hipótesis razonada acerca de por qué algunos de los errores conceptuales de nuestros alumnos son tan difíciles de erradicar, incluso aun cuando la enseñanza se diseñe teniendo en cuenta explícitamente las ideas alternativas que llevan a cometerlos.*

Históricamente, el cambio al que nos hemos referido en el párrafo anterior no fue en absoluto fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurra con nuestros alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de plantearse problemas de interés, construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la

coherencia global, etc.) será posible que superen la metodología de la superficialidad al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

La metodología del sentido común se basa esencialmente en la utilización del pensamiento ordinario. Dicha forma de pensamiento puede ser útil en la mayoría de las situaciones cotidianas, pero no lo es tanto cuando se trata del aprendizaje de los conocimientos científicos. Cuando se utiliza para el aprendizaje de las ciencias, se pueden constatar algunas características como las que, en orden aleatorio y a modo de ejemplo, se comentan brevemente a continuación:

- ✓ Tendencia a **contestar rápidamente**, a dar respuestas precipitadas sin analizar el problema realizando una reflexión previa sobre aquello que se pregunta, considerando las distintas variables que intervienen y cómo pueden influir, los conocimientos relacionados con la cuestión, etc.
- ✓ **Razonamiento dirigido por la percepción**, que se basa fundamentalmente en los rasgos más evidentes, llamativos o claramente observables.
- ✓ Tendencia a prestar una **atención preferente a aquello que apoya las propias ideas** iniciales, ignorando otros aspectos que podrían contradecirlas.
- ✓ **Comparar magnitudes distintas**. Dicha comparación puede apoyar posibles ideas alternativas, así, por ejemplo, si se maneja la idea de fuerza como causa de la velocidad, es habitual que un alumno ante un lanzamiento vertical y hacia arriba razone que "subirá si la velocidad inicial con que se lanza es mayor que el peso"; o si se maneja la idea de que la presión es una fuerza, se afirme (como se hace en un libro de texto) que "un esquiador no se hunde en la nieve porque ... al repartirse el peso en los esquís la presión que ejerce sobre la nieve es menor que el peso".
- ✓ Un **formulismo y operativismo extremos** al intentar resolver problemas, que lleva a buscar rápidamente una fórmula en la que estén representados los datos y la incógnita, sin plantearse el campo de validez de la misma, realizando cálculos inmediatamente sin plantearse tampoco la posibilidad de una resolución literal, y todo ello con el fin de llegar a un resultado numérico lo antes posible. Así, por ejemplo, es conocido por muchos profesores la utilización de la expresión  $v = e/t$  en situaciones muy diversas (incluso en movimiento armónico simple). Ello lleva también a no analizar los resultados numéricos y quedar impasible ante conclusiones tales como que una molécula de agua tiene una masa de 18 g o que una persona para combatir la acidez de estómago ha de ingerir diariamente 100 litros de una disolución a base de hidróxido de aluminio, etc.
- ✓ Tendencia a **relacionar magnitudes mediante reglas de tres** (proporcionalidad directa, razonamiento lineal) en cualquier situación. Es común, por ejemplo, razonar que si un móvil que va a 50 km/h frena con una fuerza constante y consigue pararse en 5 metros, cuando vaya a 100 km/h y frene igual, lo hará en 10 m, cuando sabemos que en este caso no existe una proporcionalidad directa y que lo que ocurrirá es que precisará, no doble, sino cuatro veces más distancia para pararse.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

- ✓ **Atribuir propiedades anímicas a sistemas que no pueden tenerlas.** En el lenguaje cotidiano es frecuente, por ejemplo, afirmar que un coche va con mucha fuerza (por va muy rápido). La propia enseñanza de las ciencias contribuye a ello cuando se manejan expresiones tales como “tendencia a adquirir estructura electrónica de gas noble”, “apetencia por electrones”, “resistencia a cambiar de movimiento”, “estado excitado”, etc.
- ✓ **Razonamiento local y secuencial.** Por ejemplo ignorar la reestructuración que se produce en un circuito eléctrico ante cualquier modificación y pensar que un cambio en un punto del circuito de corriente continua afectará solo a ese punto y a los posteriores (en el sentido de la corriente) pero no a los de antes.
- ✓ **Generalizaciones acríticas.** A menudo se manifiestan dando a un concepto o a una expresión un grado de generabilidad mayor del que realmente tiene: así, ocurre, por ejemplo con quienes piensan que 22’4 litros es también el volumen molar en condiciones normales de líquidos y sólidos (y no solo de gases), o que a 1 litro de cualquier líquido le corresponde una masa de 1 kg (como en el caso del agua), etc.
- ✓ **Reducción funcional** o tendencia a razonar sin tener en cuenta todas las posibles variables que influyen en el problema. Otro tipo de reducción funcional consiste en no diferenciar entre determinadas magnitudes relacionadas como, por ejemplo, concentración en masa y masa, cantidad de sustancia y masa, intensidad del campo eléctrico y fuerza eléctrica, calor específico y calor, calor y temperatura, etc.
- ✓ **Conformarse con explicaciones parciales** sin plantearse la búsqueda de coherencia entre lo que se obtiene o se afirma al contestar un problema o una pregunta y el cuerpo de conocimientos teóricos de que se dispone.

Por otra parte, la metodología del sentido común se ve reforzada también por las concepciones simplistas respecto de la naturaleza de la ciencia, las características del trabajo científico y los propios científicos. En efecto, si un alumno o incluso un profesor de ciencias, piensa que la ciencia se basa en la observación pura y neutral y que en ella no tienen cabida las especulaciones, que la imaginación y la creatividad son cualidades típicas de los artistas pero no de los científicos, que existe un método científico a modo de una serie de pasos a seguir en un orden determinado, etc., la metodología que utilice para aprender o para enseñar ciencias, probablemente no será muy diferente.

Las consideraciones anteriores permiten comprender que no sea fácil cambiar lo que hemos llamado metodología del sentido común por otra metodología más coherente con la metodología científica.

En definitiva: una posible explicación de por qué algunas ideas alternativas son tan difíciles de cambiar y de que, a pesar de aplicar en clase estrategias de cambio conceptual, no se consigan cambios más efectivos, sin que los alumnos reviertan al poco tiempo a ideas espontáneas que se creían ya superadas, podría residir en el hecho de que tales modelos de enseñanza no estuviesen convenientemente diseñados para producir el imprescindible cambio metodológico que se requiere. Con ello no estamos afirmando que los modelos de cambio conceptual se reducen únicamente a cambios en el contenido de los conceptos, sino que en dichos modelos **no se presta realmente al cambio metodológico la atención necesaria**. Pensemos a este respecto que no basta hablar de cam-

bio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que éste comporta. Por el contrario, cabe temer que, sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades más creativas del trabajo científico como la invención de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, el análisis crítico de resultados, la búsqueda de coherencia global, etc., continuarán prácticamente ausentes de las clases de ciencias.

## 5.2. ¿Qué entender por cambio metodológico?

El cambio metodológico es un proceso complejo que contiene toda una serie de dificultades. Lo que hoy denominamos como metodología científica supuso históricamente un cambio drástico en la forma de abordar los problemas, una verdadera revolución. De la misma forma, el desarrollo de una metodología similar en los alumnos tampoco puede considerarse como un proceso natural. Por el contrario supone una ruptura -necesaria pero difícil- con hábitos de pensamiento muy enraizados, fruto de la forma común (y ordinariamente efectiva) de abordar e interpretar las situaciones de la vida cotidiana.

Por otra parte, conviene llamar la atención sobre la necesidad de plantear la familiarización con la metodología científica como un objetivo explícito pero no autónomo, sino íntimamente ligado a la adquisición de conocimientos. Sin cambio metodológico no puede haber cambio conceptual, pero las investigaciones científicas se suelen realizar dentro del marco de cuerpos teóricos de conocimientos que juegan un papel muy importante desde el inicio hasta el término de las mismas. En resumen: **sin una atención a los contenidos o con tratamientos puntuales y desconexos de los mismos, la metodología científica queda desvirtuada, no es tal.**

La historia de la Ciencia contiene numerosos ejemplos en donde se muestra que una teoría científica nunca desaparece del todo hasta que no se dispone de otra que la pueda sustituir con ventaja. Dentro de una teoría, los conceptos científicos tienen inicialmente el carácter de hipótesis y no se definen arbitrariamente sino que responden a alguna necesidad. Solo su funcionamiento correcto, el que no lleven a contradicciones al ser utilizados en situaciones diversas, etc., dará finalmente cuenta de su validez. Paralelamente, los cambios conceptuales efectivos en los alumnos, exigen la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos. No se pueden plantear cambios puntuales y desconexos. Así por ejemplo es posible aplicar estrategias de cambio conceptual para modificar la creencia de los alumnos de que existe una relación inversamente proporcional entre la duración de la caída desde una cierta altura y la masa de los cuerpos. Se les puede someter a situaciones de **conflicto cognoscitivo**, e incluso hacer que emitan hipótesis, diseñen y realicen experimentos, etc., acerca del problema. Sin embargo es probable que, si lo único que se estudia de mecánica es la caída de graves, el cambio conceptual sea tan solo aparente. En efecto, una de las causas de la preconcepción citada sobre la caída de graves es que, para muchos alumnos, doble fuerza implica doble velocidad y por lo tanto mitad de tiempo. Así pues, mientras no sean capaces de entender y manejar aceptablemente el concepto newtoniano de fuerza, difícilmente podrá afirmarse que han conseguido un cambio conceptual efectivo en relación al tema de la caída de graves. Naturalmente entender y manejar aceptablemente el concepto de fuerza (y en general cualquier otro), implica hacerlo dentro de un cuerpo global y coherente de conocimientos (en este caso la mecánica), dándose cuenta de la potencia de los nuevos conceptos, cuando estos son utilizados para enfrentarse con éxito a muchas de las situaciones novedosas que puedan plantearse. En definitiva pues, se trata de conciliar el

énfasis que se pone para que en la enseñanza se tengan en cuenta las ideas alternativas de los alumnos, con el hecho de que la Ciencia está organizada en torno a cuerpos de conocimientos.

A veces puede dar la impresión de que el cambio conceptual se centra sistemáticamente en escoger como contenidos del currículum un conjunto de conceptos, en donde los alumnos tengan ideas alternativas llamativas y dedicar las clases a su exposición, cuestionamiento posterior e introducción de los conceptos científicos actualmente aceptados y manejo de estos últimos con el fin de que los alumnos se familiaricen con ellos y puedan comprobar sus ventajas frente a los antiguos.

*Teniendo en cuenta todo lo que se ha tratado anteriormente, realizad una reflexión crítica sobre el proceso descrito en el párrafo anterior y exponed, a continuación, vuestras propias conclusiones.*

La actividad sirve para recapitular toda una serie de inconvenientes que acompañan a las estrategias de cambio conceptual, pero también puede ser utilizada para profundizar un poco más y considerar, ahora, otros nuevos. Quizás uno de los más importantes sería el carácter artificial del proceso, que puede llegar a producir, en los alumnos que lo sufren, actitudes de cansancio y de rechazo al verse forzados de forma sistemática -sin que en principio vean una razón para ello- a exponer cuales son sus ideas de partida, para que luego resulte que éstas (como se encarga de mostrar el profesor), son casi siempre equivocadas. Se trata de una estrategia cuando menos "perversa". ¿Qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen **sus** ideas para seguidamente cuestionarlas? ¿Cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos? Esta construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés. Cuando un alumno se plantea un problema y trata de resolverlo científicamente, en general ha de emitir unas hipótesis, elaborar unas estrategias de resolución, etc., y analizar cuidadosamente los resultados. Es precisamente en este proceso, adecuadamente impulsado y orientado por el profesor, cuando pueden aparecer (si es que existen) las posibles concepciones alternativas y la consiguiente necesidad de modificarlas, haciendo posible la evolución de tales ideas hacia las ideas científicas que se quieren enseñar.

Es preciso insistir en que la familiarización de los alumnos con la metodología científica, no puede resolverse de manera parcelada. Para que el cambio metodológico pueda llevarse realmente a cabo, es necesario que se extienda a todas las actividades claves en la enseñanza de las ciencias, desde la introducción de conceptos a los trabajos prácticos y la misma resolución de problemas de papel y lápiz.

Finalmente, conviene tener en cuenta la necesidad de contemplar también otros cambios además del cambio metodológico, como el **epistemológico** o cambio de las concepciones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico (tema 2) y el **axiológico** (que trataremos en el tema 7) para aumentar el interés y las actitudes positivas de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje, integrando todos estos cambios en un modelo de enseñanza de las ciencias coherente con ellos.

### 5.3. ¿Qué criterios podemos utilizar para evaluar el cambio conceptual?

¿Qué criterios deberíamos de tener en cuenta a la hora de decidir si un alumno ha conseguido o no, avanzar de forma significativa en el objetivo de conseguir un determinado cambio conceptual? La cuestión no es obvia puesto que, en muchos, casos no resulta muy difícil el diseñar cuestiones o actividades problemáticas relacionadas con un tema, de forma que por mucho que se sepa sobre el mismo, al tratar de contestar se cometa algún error conceptual importante. Piénsese, por ejemplo, en la siguiente cuestión:

*¿Por qué las moléculas de los gases que forman el aire no se “caen” al suelo con la aceleración de la gravedad, como lo hacen el resto de los cuerpos cuando se sueltan desde una cierta altura?*

Para nosotros, lo que permitiría afirmar que un alumno ha progresado sustancialmente en la consecución de un cambio conceptual dado, no estaría solo en el hecho de que contestase correctamente la mayoría de las cuestiones sencillas que se le planteasen sobre el tema, sino también, y fundamentalmente, en que cuando se enfrente a una situación nueva, que es problemática para él y que de entrada desconoce, proceda a una reflexión detenida respecto a lo que se plantea, a la luz de los conocimientos teóricos pertinentes, y construya una respuesta que sea aceptable dentro del marco de dichos conocimientos o bien si, después de varios intentos serios, no lo consigue, concluya que de momento no encuentra una solución que le satisfaga, pero -y esto es lo esencial- no revierta (como lo harían otros) a formas de pensamiento espontáneas, que le lleven a dar respuestas rápidas y seguras, basadas en generalizaciones acríticas, aparentes evidencias de "sentido común", etc. Así, en la cuestión propuesta es posible que muchos alumnos no sepan responderla. Pero si han “progresado adecuadamente”, no encontraremos explicaciones del tipo: porque los gases no pesan o porque no tienen masa.

Por otra parte, el cambio conceptual y metodológico en un campo determinado se trata de un proceso indefinido. Esto no supone que sea algo vago, con unas características poco claras, sino que más bien consiste en un proceso que -coherentemente con la infinita complejidad de la materia- no termina nunca, en el que siempre es posible encontrar un problema nuevo que no pueda explicarse a través de nuestros conocimientos anteriores y nos obligue a modificaciones más o menos profundas de éstos. Sin embargo también hemos insistido que el aprendizaje de la Ciencia ha de hacerse mediante la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos. Los alumnos a través de un largo proceso, han de cambiar, por ejemplo, sus esquemas conceptuales iniciales sobre mecánica por otros más acordes con las ideas de la mecánica clásica. Pero el proceso no se detiene ahí y es muy posible que más adelante tengan que hacer algo similar cuando comiencen a estudiar la física moderna y la mecánica newtoniana que, en su momento, supuso una revolución, se convierta entonces en algo que es preciso cuestionar.

## 6. LA INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS

Las estrategias de enseñanza que acabamos de describir forman parte de un modelo de enseñanza coherente con las características esenciales de la investigación científica el cual se puede esquematizar de acuerdo con el siguiente proceso, en el que se ha escrito en cursiva aquello más relacionado con las ideas alternativas.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

**1. Plantear situaciones problemáticas** que, teniendo en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes de los estudiantes, puedan **generar interés** y proporcionen una concepción preliminar de la tarea a realizar.

**2. Proponer el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas** planteadas y la toma de decisiones, con la ayuda de las necesarias búsquedas bibliográficas, para acotar problemas precisos (*oportunidad para que los estudiantes comiencen a hacer explícitas de manera funcional, sus ideas previas, acertadas o no, y a manifestar sus formas de pensamiento*).

**3. Orientar hacia el tratamiento científico de los problemas planteados** (cambio metodológico) lo que conlleva, entre otros aspectos:

-**La construcción de conceptos y de hipótesis**, lo que implica la utilización de las ideas que cada uno tenga en ese momento para elaborar definiciones, proponer expresiones operativas o realizar predicciones.

-**El diseño de posibles estrategias de resolución** (incluyendo, en su caso, diseños experimentales) para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

-**La resolución propiamente dicha y el análisis de los resultados**, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en oportunidad de *conflicto entre distintas concepciones*, tomadas todas ellas como hipótesis, y obligar a considerar otras hipótesis diferentes a las que se tenían inicialmente.

**4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos** en una variedad de situaciones, para hacer posible la **profundización y afianzamiento** de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, que tengan que ver con los conocimientos considerados (propiciando a este respecto, la toma de decisiones). *Proponer actividades específicamente diseñadas para detectar la permanencia de posibles ideas alternativas*, comparando las respuestas con las que podrían darse si dichas ideas no hubieran sido ya cambiadas (favorecer la autoestima al darse cuenta del progreso alcanzado en el aprendizaje).

**5. Diseñar los contenidos a desarrollar y su secuenciación**, de manera que permitan mostrar el carácter de **cuerpo coherente de conocimientos** que tiene toda ciencia. Favorecer, en particular la resolución de problemas concretos mediante estrategias diferentes (lo que permite darse cuenta de la validez de los conceptos manejados) y la elaboración de modelos teóricos (modelo cinético-corpúscular, modelos atómicos, modelo ondulatorio, etc.) analizando su funcionamiento para explicar toda una serie de hechos, predecir otros nuevos y también los cambios que pueden experimentar (su evolución), desarrollando así una imagen más dinámica de la ciencia.

**6. Proponer actividades de síntesis** (esquemas, memorias, mapas conceptuales...), la elaboración de **productos** (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente “escolares” y de reforzar el interés por la tarea) y favorecer el planteamiento de **nuevos problemas** de interés siguiendo el hilo conductor establecido.



El proceso a que nos hemos referido no puede quedarse en unas orientaciones teóricas generales. Es preciso ir más allá y plantearse la elaboración de unidades didácticas o temas concretos que cubran el programa de un curso académico y cuyos contenidos se desarrollen de acuerdo con las características anteriores, llenando así ese gran vacío que, desafortunadamente, se da entre los resultados de la investigación didáctica y la existencia de materiales de trabajo para el aula coherentes con ellos. Es en ese contexto y no en otro en el que se puede analizar realmente en qué medida se producen los cambios conceptuales y metodológicos más o menos efectivos en nuestros alumnos.

*En la elaboración de una unidad didáctica ¿a qué otros aspectos habría que prestar atención a la hora de introducir un concepto nuevo?*

Cuando se trata de elaborar un tema (unidad) de ciencias para desarrollarlo en clase con nuestros alumnos, conviene tener en cuenta toda una serie de aspectos concretos en el momento de introducir un concepto nuevo. De acuerdo con lo tratado hasta aquí, entre dichos aspectos podemos referirnos a los siguientes:

- ✓ Evitar la introducción arbitraria de los conceptos científicos. Por el contrario conviene, siempre que sea posible, tratar de hacer ver su necesidad, para lo cual el planteamiento de actividades problemáticas de interés en donde los conceptos vayan a ser utilizados, tiene un papel fundamental.
- ✓ No realizar definiciones operativas de entrada (como, por ejemplo, aquella que comienza definiendo el trabajo como el producto de la fuerza por el desplazamiento). Conviene utilizar primeramente definiciones e introducciones cualitativas, aunque al principio sean simples aproximaciones, que posteriormente se vayan precisando y finalmente se traduzcan en expresiones o relaciones de carácter operativo.
- ✓ Tener en cuenta la necesidad de que los alumnos manejen los conceptos introducidos en situaciones diversas, ya que precisamente será el hecho de que funcionen correctamente en la resolución de diferentes problemas, lo que permitirá comprender su utilidad en la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos, que es lo que les confiere validez en cada momento.
- ✓ Justificar las expresiones operativas que se van a utilizar de forma que los alumnos no tengan la sensación de que las definiciones se establecen porque sí. En este sentido es importante recurrir a plantear actividades en donde los alumnos tengan que analizar una definición operativa determinada, como por ejemplo la de densidad como cociente entre masa y volumen, comparándola con otras alternativas (como podría ser el producto masa por volumen o el cociente entre volumen y masa), lo que obliga a centrarse en la forma en que influyen en cada caso las magnitudes consideradas.
- ✓ Otra cuestión importante es resaltar el campo de validez de cada una de las expresiones operativas introducidas. Así por ejemplo, el concepto de trabajo definido operativamente como fuerza por desplazamiento tiene un campo de validez muy delimitado (fuerza constante, tangente a la trayectoria y del mismo sentido que el desplazamiento). O la conocida expresión  $\mathbf{v} = \mathbf{e}/t$  (válida únicamente para movimiento uniforme cuando  $e_0$  y  $t_0$  valen cero). Es preciso insistir en este razonamiento cada vez que se manejen expresiones de este tipo, saliendo al paso de la tendencia de los alumnos a hacer generalizaciones que utilizan en todos los casos.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

- ✓ Referirse al significado físico de las unidades de medida utilizadas, huyendo de definiciones meramente operativas como: "El julio es el newton por metro" y dar otras con más sentido físico como por ejemplo "Cuando una fuerza constante de un newton actúa sobre un objeto a lo largo de un metro de recorrido, con la misma dirección y sentido en que se desplaza el objeto, decimos que dicha fuerza ha realizado un trabajo de un julio".
- ✓ Apoyar, siempre que sea posible, las unidades que se manejen, con sensaciones físicas o ejemplos ilustrativos adecuados, que hagan notar a los alumnos si se trata de unidades grandes o pequeñas (en relación a determinadas medidas de las más usuales a las que ellos puedan referirse o tener acceso). Así por ejemplo es posible que pocos sepan cómo de grande es un julio de trabajo, pero posiblemente si lo sabrían si en la clase hacen estimaciones sobre la cantidad de julios que supone la realización de determinados trabajos sencillos, como levantar a un compañero, subir unas escaleras, elevar un metro el borrador, etc.
- ✓ Considerar el significado físico de determinadas constantes que aparecen en diferentes expresiones básicas, como por ejemplo  $\vec{f} = m \cdot \vec{a}$ ;  $\Delta e = v \cdot \Delta t$ ;  $V = R \cdot I$ ;  $F = GMm/r^2$ , etc. Ello constituye un excelente instrumento para comprender mejor algunos conceptos y debería de ser una práctica habitual en la enseñanza. Así, por ejemplo, en la definición operativa del concepto de fuerza como una magnitud directamente proporcional a la aceleración según  $\vec{f} = m \cdot \vec{a}$  podemos preguntarnos acerca de cuál es el significado físico de la constante  $m$  de proporcionalidad, pidiendo a los alumnos que consideren lo que supondría que, para un cuerpo dado,  $m$  tuviese un valor muy grande o muy pequeño y lo mismo podría hacerse con  $R$  en  $R = V/I$ , etc.
- ✓ Se ha dicho también que, fundamentalmente, lo que confiere validez y aceptación a los conceptos científicos, es su buen funcionamiento dentro del marco teórico vigente. Esto, entre otras cosas, supone que dichos conceptos continuamente se están probando y utilizando en diferentes situaciones. Consecuentemente, un criterio a seguir, en aquellos casos que sea necesario, sería dar prioridad a los conceptos claves que se utilizan frecuentemente en distintas situaciones, frente a la introducción esporádica de otros conceptos que luego no vayan a ser utilizados.
- ✓ Respecto a la necesidad de que el profesor conozca las concepciones alternativas de sus alumnos y las tenga en cuenta, se trata de un aspecto fundamental al que es preciso conceder la necesaria atención, proponiendo actividades problemáticas en donde los alumnos tengan que emitir hipótesis (al emitir hipótesis han de hacer uso de sus ideas sean o no equivocadas), utilizando didácticamente la historia de la ciencia (llena de ejemplos en donde se muestra el surgimiento y evolución de determinados conceptos), haciendo algún comentario crítico respecto al significado que en lenguaje cotidiano se da a determinados conceptos científicos, proponiendo el análisis crítico de cuestiones y ejemplos en los que se cometen errores conceptuales, etc.
- ✓ Antes de introducir conceptos (y en general nuevos conocimientos), tener en cuenta los prerrequisitos de todo tipo (contenidos propiamente dichos, habilidades matemáticas, etc.) que fundamentalmente se precisan para que los alumnos puedan trabajar con éxito y, en caso de ausencias notables en la generalidad de la clase, dedicar el

tiempo necesario para solucionar el problema, ya que dar por supuesto que el alumno posee todos los conocimientos básicos pertinentes antes de comenzar algo, aduciendo que ya se vieron anteriormente es una práctica que no suele dar buenos resultados.

*Proceded a hacer una recapitulación de lo tratado hasta aquí señalando qué hemos avanzado respecto de los problemas planteados y qué otros nos quedan por tratar.*

Hemos analizado algunas propuestas metodológicas para tratar el problema que supone para el aprendizaje de las ciencias, la existencia de ideas alternativas que afectan a conceptos científicos fundamentales. Ello nos ha llevado a plantear un modelo de enseñanza y aprendizaje basado en el cambio conceptual y metodológico.

También se ha mostrado la necesidad de que estas propuestas no se limiten a unas orientaciones más o menos fundamentadas sino que se traduzcan en materiales de trabajo adecuados para el aula, es decir: que se plasmen en los temas de que consta un curso y que se experimenten y evalúen los resultados. Es pues necesario un esfuerzo por acercar las propuestas innovadoras surgidas de la investigación didáctica a la práctica diaria del aula que es donde, en definitiva, se van a poder evaluar sus virtualidades y limitaciones.

En el caso de los errores conceptuales, a menudo se utilizan cuestiones que se pasan a los alumnos en un momento dado como una forma de averiguar si han superado o no determinadas ideas alternativas. No obstante, es posible también otra estrategia: utilizar los errores conceptuales existentes en cómics, prensa escrita, novelas, o incluso libros de texto, como materiales de trabajo para que los alumnos (o mejor los alumnos distribuidos en pequeños grupos) los analicen críticamente en el momento oportuno, tal y como intentaremos mostrar a continuación.

## **7. UTILIZACIÓN DIDÁCTICA DE LOS ERRORES CONCEPTUALES QUE APARECEN EN CÓMICS, PRENSA, NOVELAS Y LIBROS DE TEXTO**

Tradicionalmente, las preguntas que permiten poner de manifiesto la existencia de posibles ideas alternativas han sido mayoritariamente cuestiones específicamente diseñadas a tal efecto. Dichas cuestiones se suelen plantear a los alumnos para que las contesten individualmente al comienzo de un tema (normalmente para detectar esas ideas y ponerlas de manifiesto) y/o al final del mismo (para comprobar si ya han sido superadas y cambiadas por las ideas científicas que los profesores de ciencias tratamos de enseñar).

Anteriormente hemos criticado las estrategias de cambio conceptual y hemos intentado fundamentar la necesidad de otros cambios (metodológicos, epistemológicos y axiológicos) si queremos conseguir que los alumnos aprendan ciencias y, consecuentemente, sustituyan sus ideas alternativas (cuando las tengan) por las ideas científicas que tratamos de enseñarles. Por tanto, las cuestiones sobre ideas alternativas han de incorporarse de forma funcional a este modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, integrándose en el desarrollo de cada tema. Es dentro de ese marco teórico donde cabe plantearse su utilización para que los alumnos, en pequeños grupos de trabajo, construyan las respuestas más adecuadas.

La estrategia anterior es posible llevarla a cabo también con otros materiales distintos a las cuestiones específicas, materiales que, en principio, pueden presentar mayor interés

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

para los alumnos. Nos referimos concretamente al análisis de diversos recortes de prensa, hojas de cómics, novelas, vídeos, o incluso libros de texto, en donde se hallen presentes graves errores conceptuales.

*¿Qué ventajas puede tener proponer a los alumnos el análisis de los materiales anteriores a la luz de los conocimientos que se van desarrollando?*

No es difícil llegar a la conclusión de que dicho análisis presenta una serie de virtualidades tales como:

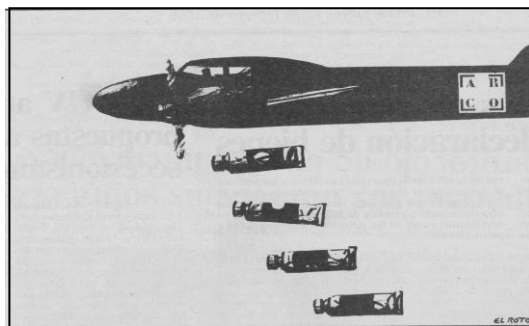
- ✓ Resulta atractivo para los alumnos ya que, la mayor parte de las veces el error tiene que ver con imágenes, y no podemos olvidar el importante papel que para ellos tiene la imagen. Por otra parte, identificar un error en imágenes suele ser más sencillo que en un texto.
- ✓ Supone un cambio de rol, en el que los estudiantes pasan de ser evaluados a ser evaluadores, lo que suele hacer que se esfuercen más en el análisis y en sus argumentaciones a la vez que fomenta su autoestima.
- ✓ Practican un aspecto esencial del trabajo científico, como es el análisis crítico de algo a la luz del cuerpo de conocimientos vigente, favoreciendo la construcción de una imagen de la ciencia y del trabajo científico más próxima a la realidad.
- ✓ Contribuye a desarrollar una actitud más positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

Conviene insistir en que no se trata de pasar a los alumnos un material para ver si cometen o no errores conceptuales. Por el contrario, se les da una información (en este caso las hojas con recortes de prensa, viñetas de cómics, etc.), y se les pide que realicen un análisis crítico de la misma desde el punto de vista científico. Naturalmente, si se hace esto en clase, también conviene incorporarlo a las pruebas de evaluación que se realizan periódicamente. Hay que tener en cuenta que no se trata de analizar los numerosos errores que, desde el punto de vista científico, se pueden encontrar en los distintos medios mencionados, sino de centrarse en aquellos que puedan apoyar ideas alternativas muy sólidas y persistentes, y utilizar el análisis de esos errores conceptuales como una herramienta más para mejorar el aprendizaje de las ciencias, dentro de un modelo de enseñanza y aprendizaje acorde con el propio proceso de producción de los conocimientos científicos, y utilizando unos materiales didácticos (entre ellos, los distintos temas del curso) coherentes con dicho modelo.

Como es lógico, para poder realizar los análisis a que nos acabamos de referir es necesario un largo proceso previo de búsqueda de errores conceptuales graves (que tengan que ver con conceptos científicos fundamentales), en cómics, periódicos, novelas y libros de texto. Estos errores conceptuales se pueden agrupar de acuerdo con la idea alternativa con la que estén relacionados. El proceso puede continuar indefinidamente construyendo así una colección de textos e imágenes de indudable valor educativo. Todo ello también puede ser usado con los profesores de ciencias en formación y pedirles una búsqueda bibliográfica de errores conceptuales en este tipo de materiales y el análisis crítico de los mismos desde el punto de vista científico. A continuación comentaremos algunos ejemplos directamente relacionados con algunas de las ideas alternativas más relevantes que hemos estudiado.

**7.1. El estado natural de los cuerpos pesados es el reposo, de modo que cuando cesa la fuerza que “los mantiene en movimiento” cesa inmediatamente ese movimiento**

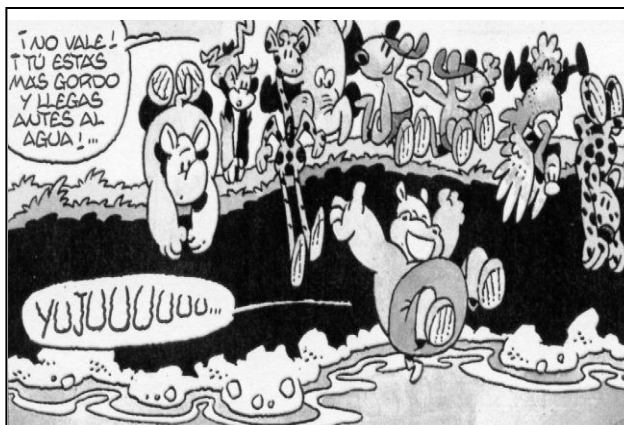
Se trata de una idea ampliamente extendida entre muchos alumnos y de la que hemos encontrado numerosos ejemplos que la apoyan, en cómics y prensa escrita. A continuación se reproducen dos casos (uno de un cómic y otro de un chiste gráfico publicado en un periódico).



**7.2. Los cuerpos, cuanto más pesados son, antes llegan al suelo**

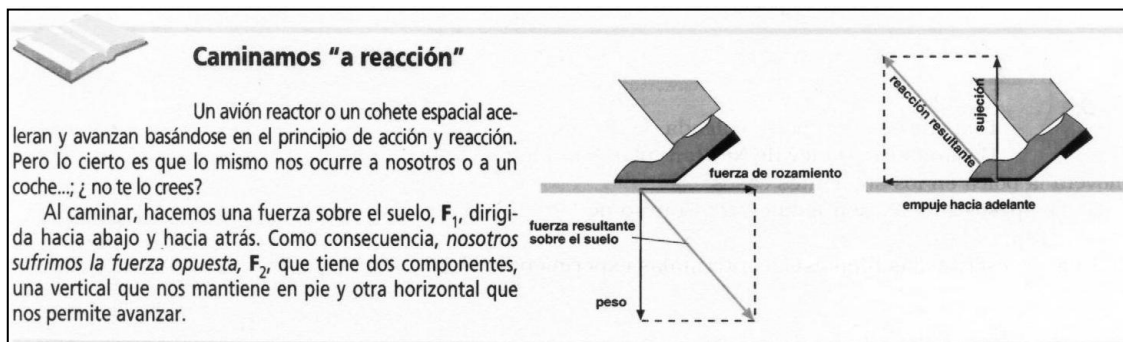
Esta idea está conectada con la de fuerza como causa del movimiento. Se admite que si un objeto tiene más masa pesa más, pero luego la idea de fuerza como causa del movimiento lleva a razonar que si es atraído hacia el suelo con más fuerza ha de llegar antes, de tal forma que los tiempos empleados en llegar a suelo por dos objetos que se dejan caer desde la misma altura serán inversamente proporcionales a los respectivos pesos (considerando siempre situaciones en las que se pueda despreciar el efecto del rozamiento con el aire).

Concretamente la idea anterior lleva a pensar que si un cuerpo pesa doble que otro, cuando se dejan caer desde la misma altura, el primero empleará en llegar al suelo justo la mitad de tiempo que el segundo, o que cuando se lancen verticalmente hacia arriba con la misma velocidad, el primero alcanzará justamente la mitad de altura que el segundo.



### 7.3. La fuerza normal que un objeto hace sobre el suelo es el peso del cuerpo

Se trata de una idea alternativa muy extendida y que supone un serio obstáculo para un correcto aprendizaje de uno de los principios más importantes de la dinámica: el principio de acción y reacción



En el ejemplo anterior (extraído de un libro de texto de física y química de secundaria), la idea alternativa ha llevado a señalar explícitamente al peso como una fuerza que se hace sobre el suelo cuando, en realidad, el peso es la fuerza gravitatoria con que la Tierra atrae a la persona y, por tanto, se ejerce sobre la persona mientras que su pareja en la interacción (del mismo módulo y sentido contrario), se ejerce sobre la Tierra.

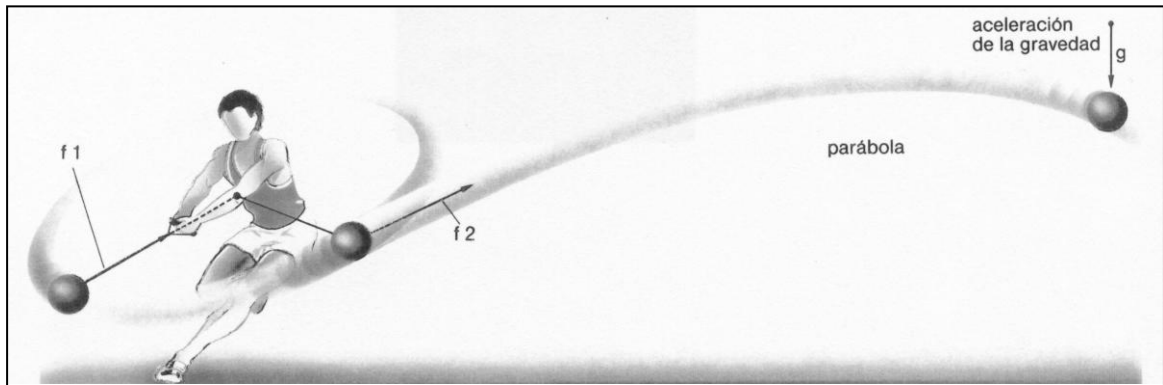
En ocasiones, se argumenta que aunque el peso y la fuerza sobre el suelo no sean una misma fuerza, sí que tienen el mismo módulo, la misma dirección y el mismo sentido. Sin embargo, esto no es siempre así. Basta pensar, por ejemplo, en un ascensor cuando inicia la subida y notamos que nos "pegamos" más al suelo (y al contrario cuando inicia el descenso); en ambos casos esa sensación se debe a que la fuerza que hacemos sobre el suelo es mayor (menor) que el peso y si se rompiese el cable, seguiríamos pesando lo mismo pero no haríamos ninguna fuerza sobre el suelo (ya que caeríamos con la misma aceleración que la cabina del ascensor). No obstante, la identificación entre la fuerza peso y la fuerza que ejercemos sobre el suelo es tan grande, que lleva a señalar, incluso, que nuestro peso se modifica según la aceleración con que nos movamos. Este es el caso del siguiente ejemplo, extraído de un artículo de prensa (La Vanguardia, 4 de marzo de 1995) sobre las montañas rusas de los parques de atracciones, en el que se escribe textualmente que:

- “Cuando el vagón desciende a gran velocidad, nuestro peso disminuye...”
- “Durante el descenso, el peso de cada persona se reduce a la mitad”
- “Cuando se llega abajo el peso de cada persona se multiplica por tres”

### 7.4. El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la misma dirección que la fuerza resultante que actúa sobre el mismo

La idea alternativa que relaciona la fuerza con el movimiento, conduce a pensar que existe una proporcionalidad directa entre fuerza y velocidad. Ello tiene algunas consecuencias claras como, por ejemplo, que la velocidad y la fuerza siempre han de tener la misma dirección, o que si la velocidad de un cuerpo en un instante dado es 0 la fuerza resultante en ese mismo instante deberá ser nula. La idea de fuerza como causa del movimiento es una de las más sólidas y difíciles de cambiar (quizás la que más) de todas las ideas alternativas. Existen ya muchas cuestiones que permiten ponerla de manifiesto y, por supuesto, también se puede detectar en algunas publicaciones (incluso en libros

de texto). A continuación se reproduce una de ellas, extraída de un artículo de prensa correspondiente a un coleccionable sobre temas científicos del diario valenciano “Levante”.



### 7.5. Un cuerpo se puede acelerar a sí mismo

Posiblemente el principio de acción y reacción es uno de los principios de la mecánica que más se presta a confusiones. Una de ellas, es la de pensar que es posible que algunos cuerpos se puedan acelerar ellos mismos. Los alumnos, inicialmente, suelen citar ejemplos que parecen apoyar esta idea, tales como que un corredor puede aumentar su velocidad merced a su propio esfuerzo. Sin embargo, basta fijarse un poco para darse cuenta de que el corredor puede acelerar porque empuja al suelo hacia atrás y éste le empuja a él hacia delante de modo que, si no pudiera hacer fuerza sobre el suelo, tampoco podría acelerar (como ocurre cuando un vehículo entra en una zona con hielo en la que hay muy poco rozamiento y de nada sirve apretar el freno o el acelerador porque las ruedas no pueden empujar al suelo ni hacia adelante ni hacia atrás). Esta idea alternativa también lleva a conclusiones curiosas como, por ejemplo, pensar que si se rompiese el cable de un ascensor, podríamos salvarnos, simplemente dando un salto hacia arriba poco antes de que éste se estrellase (lo que no es posible dado que, en ese caso, no haríamos ninguna fuerza sobre el suelo y, en consecuencia, el suelo tampoco la haría sobre nosotros).

La ilustración adjunta se puede encontrar en una conocida novela que narra las extraordinarias aventuras del Barón de Münchhausen. En el texto se puede leer lo siguiente:

“Allí hubiera acabado irremisiblemente si la fortaleza de mi brazo no me hubiera sacado tirando de mi propia coleta, juntamente con mi caballo, el que sujeté firmemente entre mis piernas”



### 7.6. Las chimeneas de los volcanes por las que sale la lava, llegan al mismo núcleo terrestre

Esta idea alternativa se basa posiblemente en identificar la lava incandescente que sale de los volcanes con el material de que está hecho el núcleo terrestre, y podemos encontrarla habitualmente en un amplio sector de la población. Consecuentemente con dicha idea, los conductos por los que asciende la lava ardiente han de conectar el volcán con el mismo núcleo de la Tierra, que es donde se piensa está alojado todo ese material. Esto es lo que parece apoyarse en la famosa novela de Julio Verne “Viaje al centro de la Tierra” tal y como se puede apreciar en el texto de las viñetas siguientes:



### 7.7. Puede haber corriente aunque el circuito esté abierto y no haya diferencia de potencial

Como ya comentábamos al referirnos a las características del pensamiento ordinario, algunos estudiantes parecen utilizar un razonamiento “secuencial” para describir lo que ocurre en un circuito, según el cual la corriente eléctrica continua es similar a una corriente de agua circulando en un determinado sentido y lo que hagamos en un punto determinado del circuito afectará a los puntos que hay detrás (en el sentido de la corriente) pero no a los que hay delante. De esta idea se pueden derivar consecuencias importantes. Así, por ejemplo, si en un circuito existen dos bombillas en serie y encendidas y cortamos el hilo entre ambas la segunda se apagará pero la primera continuará encendida. No se tiene en cuenta que en ese caso no habría diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia que constituye cada bombilla y que, por tanto, ambas dejarían de lucir.





En las viñetas anteriores la corriente pasa a través de los personajes sin que exista ninguna diferencia de potencial entre su mano y sus pies (que se hallan en el aire).

En general, cuando utilizamos los cómics, etc., para que sean analizados por los profesores en formación o en activo asistentes a distintos cursos (o con alumnos de secundaria), solemos acompañarlos de un breve comentario a modo de introducción. En este caso suele ser el siguiente:

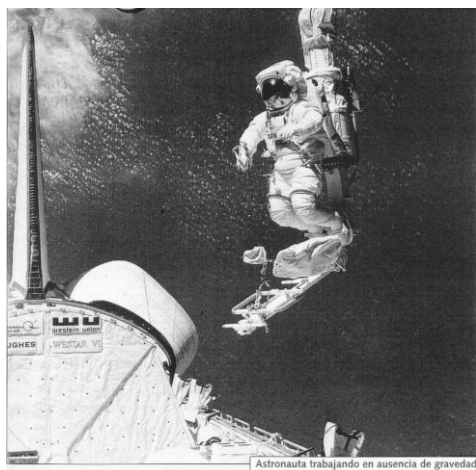
*“Las viñetas suministradas corresponden a una historieta de los personajes Mortadelo y Filemón del genial dibujante Ibáñez. En ellas puede verse cómo los dos detectives quedan literalmente carbonizados al saltar una valla electrificada. No obstante, tal y como lo hacen, eso no podría ocurrir nunca (lo podéis comprobar vosotros mismos en el campo cuando os encontréis con una valla electrificada de las que se colocan para evitar que se escape el ganado). ¿A qué se debe esto?”*

Después de analizar la situación, la mayoría coincide en señalar que si los famosos detectives estuvieran con los pies en el suelo el suelo (potencial 0) a la vez que tocando la valla, sí les daría la corriente, pero que si se encuentran en el aire, aunque estén tocando con la mano la valla no pasará corriente por su cuerpo ya que no habría diferencia de potencial alguna entre sus manos (en contacto con la valla) y sus pies (en el aire).

### 7.8. En el vacío no hay gravedad

La idea alternativa de que en el vacío no existe gravedad se halla muy extendida y podemos encontrarla de forma reiterada en noticieros y medios de comunicación.

La primera de las ilustraciones siguientes corresponde a un libro de texto de física y química y va acompañada de un pie de foto en el que se dice textualmente: “Astronauta trabajando en ausencia de gravedad”. En cuanto a la segunda, corresponde a una noticia de prensa según la cual, la causa de que los astronautas que permanecen periodos prolongados en el espacio pierdan masa ósea, es porque allí no hay gravedad.



Los cosmonautas pierden masa ósea por la ausencia de gravedad

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos \_\_\_\_\_

Ambas ilustraciones (y otras similares) pueden utilizarse para que sean analizadas críticamente, con muy buenos resultados. Además del análisis crítico de las mismas, se puede proponer el cálculo de la intensidad del campo gravitatorio a 390 km de altura sobre la superficie terrestre y lo que pesaría un astronauta a esa distancia.

Las ilustraciones también permiten plantearse nuevas preguntas que exigen aplicar correctamente los principios de la dinámica como, por ejemplo: *¿Por qué flotan los astronautas en el interior de la estación orbital? ¿A qué distancia deberían alejarse para pesar la mitad de lo que pesan en la superficie terrestre?, etc.*

### 7.9. Todos los metales son atraídos sensiblemente cuando se aproximan a un imán

Esta idea alternativa afecta a una gran mayoría de la población, que piensa que, no solo el hierro sino también el resto de los metales, son igualmente atraídos por un imán.

Sabemos que solo unos cuantos metales presentan efectos magnéticos fuertes como, por ejemplo, el hierro, el cobalto y el níquel (en general, materiales ferromagnéticos). El oro no está entre éstos y su interacción magnética con un imán es muy débil.

Las viñetas siguientes se pueden utilizar en cualquier curso en el que se estudie el Magnetismo (incluso a nivel elemental) y se pueden acompañar de experiencias cualitativas en las que se muestre, por ejemplo, que no se aprecia ninguna fuerza magnética entre un anillo de oro y un imán.

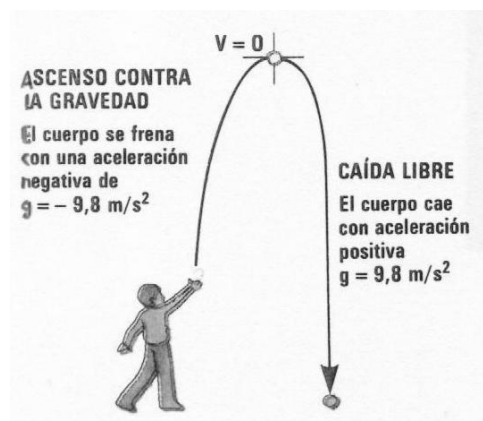


### 7.10. Siempre que un cuerpo frena la aceleración es negativa

La mayoría de los profesores de física cuando comenzamos el estudio de la mecánica solemos hacer hincapié en el carácter relativo del movimiento y en la necesidad de que, al estudiar el movimiento de un cuerpo, se especifique claramente cuál es el sistema de referencia que se utiliza.

En el caso de cuerpos que se mueven siguiendo una trayectoria fija que se conoce de antemano (por ejemplo un coche por una carretera o cualquier movimiento rectilíneo), es posible realizar un tratamiento escalar fijando un punto cualquiera de esa trayectoria como origen de espacios "O" y un criterio de signos arbitrario según el cual a un lado de O los valores de la posición del móvil sobre la trayectoria (siempre respecto de O) serán positivos y al otro lado negativos.

En el caso de un cuerpo que se lanza verticalmente hacia arriba, una vez fijado un origen de espacios y un criterio de signos, no hay dos movimientos sino uno solo. La aceleración es la misma (la de la gravedad) tanto durante el ascenso como durante el descenso. Sin embargo, todavía hoy, es posible encontrar libros de texto en los que estos problemas se tratan sin especificar qué sistema de referencia se ha escogido y descomponiendo un mismo movimiento en otros dos diferentes.



#### 4.3 El descenso y el ascenso de los cuerpos

Los cuerpos, dejados libremente, caen describiendo un movimiento uniformemente acelerado cuya aceleración es la de la gravedad, ( $g$ ), y, de igual forma, los cuerpos lanzados hacia arriba describen un movimiento uniformemente retardado cuya aceleración es la de la gravedad cambiada de signo ( $-g$ ).

Las ecuaciones de estos movimientos pueden obtenerse de las del tema 3 sustituyendo la aceleración,  $a$ , por la de la gravedad,  $g$ , obteniéndose:

a) Para el descenso:

$$v = v_0 + g \cdot t$$

$$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$$

b) Para el ascenso:

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

Posiblemente las ideas que llevan a tratar este tipo de problemas de esta forma sea la tendencia a tomar siempre como sentido positivo el del movimiento y la de pensar que siempre que un móvil frena la aceleración ha de ser negativa (y viceversa).

Los ejemplos de este apartado corresponden a dos libros de texto de física y química. Admitiendo, a pesar del dibujo, que en ambos casos se esté hablando de un lanzamiento vertical hacia arriba (si fuera un tiro oblicuo el movimiento **no sería** uniformemente acelerado), si se escoge el suelo como origen de espacios y como sentido positivo hacia arriba, la aceleración sobre la trayectoria (o aceleración tangencial) será negativa ( $-g$ ) tanto en el ascenso como en el descenso. Por el contrario, si se toma hacia arriba como sentido negativo, la aceleración sobre la trayectoria será positiva ( $g$ ) tanto durante el ascenso como durante el descenso. La figura anterior y el texto de la derecha, se prestan a realizar análisis críticos de gran interés.

De acuerdo con lo tratado hasta aquí, podemos concluir que una enseñanza de las ciencias planteada como cambio **conceptual, metodológico, epistemológico y actitudinal**, es un modelo de enseñanza adecuado para conseguir esa formación científica que aspiramos tengan nuestros alumnos y habría que trabajar en la elaboración de currículos de ciencias coherentes con este modelo. Dentro de dicho modelo se ha utilizado con éxito el lenguaje de los cómics para cuestionar las ideas simplistas sobre la ciencia. En este tema hemos intentado mostrar que no solo los cómics, sino también las revistas de prensa, las novelas y los propios libros de texto se pueden utilizar también como una herramienta más para favorecer el aprendizaje significativo de los conceptos científicos y superar determinadas ideas alternativas. En ello existen escasos precedentes y solo algún libro de texto aislado incorpora esta técnica en algunos de sus capítulos.

Otra cuestión de gran interés, es la necesidad de no limitar la investigación sobre ideas alternativas a los contenidos conceptuales en el campo de los conceptos científicos y extenderla a otros campos tales como las ideas simplistas respecto de la ciencia y del trabajo científico (de lo que ya hemos hablado en el tema 2 de este proyecto) y también a las concepciones del profesor respecto de cómo se enseña ciencias y cómo se aprende. No obstante, aunque se han realizado bastantes trabajos en estos campos, ello se ha hecho, la mayor parte de las veces, como investigaciones sin ninguna conexión con las ideas alternativas, lo que dificulta el desarrollo de la Didáctica de las Ciencias como un campo de conocimientos coherente. No es mejor la situación en lo que se refiere a las concepciones espontáneas del profesorado respecto a la situación del mundo y los graves problemas (como el cambio climático, la contaminación, etc.) a los que se enfrenta la humanidad, ya que en este campo apenas se han realizado investigaciones.

*Proceded a realizar una recapitulación de todo lo tratado en este tema, de la importancia de sus contenidos, de lo que se ha avanzado en la respuesta a los problemas planteados inicialmente y de las posibles perspectivas en la investigación de las ideas alternativas.*

A lo largo de este tema hemos tenido ocasión de asomarnos a una de las líneas de investigación más importante de la Didáctica de las Ciencias, asociada al desarrollo de ésta como cuerpo de conocimientos y hemos avanzado en cuanto a la solución de algunos problemas que se plantearon al comienzo del tema. Hemos podido así comprender qué son los errores conceptuales y las ideas alternativas a las que se asocian, los instrumentos utilizados para la detección de tales ideas, las causas relacionadas con su origen y persistencia y las estrategias didácticas para el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos que se han derivado de esta línea de investigación hasta llegar a **integrar** aspectos claves como, los trabajos prácticos, la resolución de problemas y el aprendizaje de conceptos, en un modelo de enseñanza basado en el planteamiento de situaciones problemáticas de interés, coherente con los aspectos esenciales del trabajo científico.

Dentro de dicho modelo hemos analizado cómo se pueden utilizar didácticamente las cuestiones sobre ideas alternativas y más concretamente los recortes de prensa, cómics, etc., en los que aparezcan graves errores conceptuales y, para finalizar, hemos planteado la necesidad de no limitar las investigaciones a los aspectos meramente conceptuales y conectar con esta línea de investigación los trabajos realizados en torno a las ideas espontáneas sobre la ciencia y el trabajo científico, sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y sobre la situación del mundo.

Vale la pena resaltar la coherencia existente en los contenidos tratados hasta aquí al abordar el estudio de aspectos claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Coherencia que subraya la necesidad de no tratar separadamente (como se ha hecho tradicionalmente) la teoría, los problemas y las prácticas.

### Referencias bibliográficas

- ACEVEDO, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 1989, 7 (3), 241-246
- ALEMÁN BERENGUER, R.A y PÉREZ SELLES, J.F. (2001). Una nueva propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2), 335-343.
- ARONS, B.A. (1980). *Thinking reasoning and understanding in introductory physics courses* (Physics Teaching GIREP. U. Ganiel Editor. Balabam: Jerusalén).
- AZCÁRATE, G.C. (1990). *La velocidad: introducción al concepto de derivada*. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- BANET, E., y NÚÑEZ, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 105-110.
- BANET, E., y NÚÑEZ, F. (1992). La digestión de los alimentos: Un plan de actuación en el aula fundamentado en una secuencia constructivista de aprendizaje.. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 139-147.
- BANET, E., y NÚÑEZ, F. (1996). Modelos conceptuales sobre relaciones entre digestión, respiración y circulación. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), pp. 261-278.
- BANET, E., y NÚÑEZ, F. (1997). Students' conceptual patterns of human nutrition. *International Journal of Science Education*, 19 (5), pp. 509-526.
- BENARROCH, BENARROCH, ALICIA. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las ciencias*. 19, (1), 123-124.
- BRAÑAS, S.C., MELLADO, J.V., Y RUIZ, M.C. (2003). Las ideas alternativas del alumnado de primer ciclo de Educación Secundaria Obligatoria sobre conservación de la energía, el calor y la temperatura. *Campo Abierto*, 24, pp. 99-126.
- CAMPANARIO, J. M. y OTERO, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (2), 155-169
- CAMPANARIO, J.M. (1995). Concepciones erróneas en el área de la mecánica de varios grupos de estudiantes universitarios nicaragüenses. Ponencia. I Jornadas Hispano-nicaragüenses de Física. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. (UNAN-León).
- CAMPANARIO, J.M. (2003). De la necesidad, virtud: cómo aprovechar los errores y las imprecisiones de los libros de texto para enseñar física. *Enseñanza de las ciencias* 21 (1), 161-172.
- CAMPANARIO, J.M., MOYA, A., y OTERO, J.C., (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las ciencias* 19 (1), 45-46.
- CAÑAL, P. (1997). La fotosíntesis y la "respiración inversa" de las plantas: ¿un problema de secuenciación de contenidos? *Alambique*, 14, pp. 21-36.
- CAÑAL, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique*, 24, pp. 46-56.
- CARRASCOSA, J. (1983). Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias* 1 (1), 63-65
- CARRASCOSA, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 230-234.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- CARRASCOSA, J., FERNANDEZ, I., GIL, D., y OROZCO, A. (1991). Diferencias en la evolución de las preconcepciones científicas: un instrumento para la comprensión de su origen. *O Ensino de Física*, 13, 104-134. Brasil.
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., APARICIO SANMARTÍN, J., y DOMÍNGUEZ SALES, C. (2013). Física y Química de 3º ESO. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., APARICIO SANMARTÍN, J., y DOMÍNGUEZ SALES, C. (2013). Física y Química de 4º ESO. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (2013). Física y Química de 1º de Bachillerato. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).

- CARRASCOSA, J., y GIL, D. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3).
- CARRASCOSA, J., GIL PÉREZ, D., y VALDÉS, P. ¿Cómo hacer posible el aprendizaje de conceptos y teorías? En *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Capítulo 6. pp. 123-140. Publicado por la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREAL/UNESCO. Santiago de Chile. Chile. <http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-70.
- DE LA ROSA, C et al. (1984). Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 387-397.
- DE POSADA APARICIO, J.M., y PRIETO RUZ, T. (1990). Exploraciones gráficas de ideas extraescolares de los alumnos sobre radiactividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 127-130.
- DOMINGUEZ CASTIÑEIRAS, J.M., PRO, B.A., y GARCÍA RODEJA, F.E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), pp. 461-475.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.
- DUIT, R. (2004). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE). Kiel, Germany: Leibniz Institute for Science Education (IPN) (<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>).
- ENGEL, E., y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70 (4), 473-496.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., et al., 2002. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 20, nº 3. pp. 477-488
- FERNANDEZ, J. M. (1987). Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 27-32.
- FREDETTE, N., y LOCHHEAD, J. (1981). Students' conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, (18), 194-198.
- FURIÓ, C. (1986). Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 73-77.
- FURIÓ, C., AZCONA, R., y GUIASOLA, J. (2002). *Revisión de investigaciones sobre la enseñanza y aprendizaje de los conceptos de cantidad de sustancia y mol*. Enseñanza de las ciencias, 20 (2), 229-242.
- FURIÓ, C., CALATAYUD, Mª L., BÁRCENAS, S. L. & PADILLA, O. M. (2000). Functional Fixedness and Functional Reduction as Common Sense Reasonings in Chemical Equilibrium and in Geometry and Polarity of Molecules, *Science Education*, 84, pp. 545-565.
- FURIÓ, C., y GUIASOLA, J. (2001). *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación*. Enseñanza de las ciencias, 19 (2), 319-334.
- GALLEGO TORRES, A.P. (2002). Contribución del Cómic a la Imagen de la Ciencia. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- GARCÍA-HOURCADE, J. L., y RODRIGUEZ DE AVILA, C. (1985). Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 188-194.
- GENÉ, A. (1986). Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis Doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.
- GIL, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C., y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona)
- GIL, D., y CARRASCOSA, J. (1985). Science Learning as a Conceptual and Methodological Change. *European Journal of Science Education*, 7 (3). 1985.

- GIL, D., y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science misconceptions? *Science Education*, 74 (5), 1990.
- GILBERT, J.K. y WATTS, D.M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternatives Conceptions: changing perspectives in Science Education, *Studies in Science Education*, 10, pp 61-98.
- GÍL-PÉREZ D., 1994. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 154-164.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., GALLEGO TORRES, A.P., FERNÁNDEZ, I. (2000). Contribución del cómic a la imagen de la ciencia. *Tecne Episteme y Didaxis* (7), 22-35. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica. Bogotá (Colombia).
- GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.
- GONÇALVES, R., y MACHADO, D.M. (2005). Cómic: investigación de conceptos y de términos paleontológicos, y uso como recurso didáctico en la educación primaria. *Enseñanza de las ciencias*, 23 (2), pp. 263-274.
- GRANDA, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 239-243.
- GRUPO ÁLCALI (1990). Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 111-118.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M., y CEBERIO, M. (2003). Concepciones alternativas sobre campo magnético estacionario. Selección de cuestiones para su detección. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (2), 281-293.
- HALLOUN, I.A y HESTENES, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.
- HEWSON, P.W., y THORLEY, N.R. (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal Science Education*. 11, special issue, 541-553.
- HIERREZUELO, J et al. (1989). *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Ed Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía).
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1990). Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis doctoral: Universidad Complutense de Madrid
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories?: a classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14 (1), pp. 51-61.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Facer Escola. Biblioteca didáctica. Galicia: Edicións Xerais de Galicia.
- JIMÉNEZ LISO, M R., DE MANUEL TORRES, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 451-464.
- JIMENEZ, M.P. (1987). Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 165-167.
- KAMINSKI, W. (1991). *Optique elementaire en classe de quatrième: raisons et impacte sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Tesis doctoral. Universidad de Paris 7.
- KAMINSKI,W., y VIENNOT, L., (1989). Optique elementaire. Taller desarrollado en el III Congreso Internacional sobre Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, tomo 2, p 230.
- LLORENS, J. A., DE JAIME, M<sup>a</sup> C., y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 111-119.
- LLORENS, J.A. (1987). *Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.

- MACEDO, B. y SOUSSAN, G. (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 83-91.
- MANRIQUE M<sup>a</sup> J, VARELA P y FAVIERES A, 1989. Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- Mc DERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. Julio, 24-34.
- MILLAR, R., y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MOREIRA, M.A., y NOVAK, D.P. (1988). Investigación en enseñanza de las ciencias en la universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 3-18.
- PÉREZ, C.H., y SOLBES, J. (2003). Algunos problemas de la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las ciencias*, 21, (1), 135-146
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1998). *Bibliography of students' alternative frameworks in science education*. Kiel. Germany: IPN.
- PONTES, A., y DE PRO, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1).
- QUÍLEZ, P, J., y SANJOSÉ, V. (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 1, 72-79.
- SÁNCHEZ, B.G., y VALCÁRCEL, M.V. (2003). Los modelos en la enseñanza de la química: concepto de sustancia pura. *Alambique*, 35, pp. 45-52.
- SANMARTI, N. (1990). Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto. Tesis Doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- SEBASTIA, J. M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 161-169.
- SOLANO, I., JIMÉNEZ GÓMEZ, E., y MARÍN, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno sabe” sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*. 18 (2), 171-178
- VALCÁRCEL, M.V., SÁNCHEZ, B, G., y RUIZ, R, M. (2000). El estudio del átomo en la educación secundaria. *Alambique*, 26, pp. 83-94.
- VARELA P, et al., (1989). Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Paris: Herman.
- WANDERSEE, J., MINTZES, J.J. y NOVAK, J.D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En D.L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp. 177-210. New York: Macmillan Publishing Company.
- WHITE, T.R. y GUNSTONE, F.R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586.



## **ANEXO1. CUESTIONARIO PARA DETECTAR POSIBLES IDEAS ALTERNATIVAS**

A continuación se proponen una serie de sencillas cuestiones relacionadas con algunos aspectos básicos de distintos campos de la ciencia. Contestad cada una de ellas de forma individual y anónima según se indique en cada caso. Se puede utilizar el reverso de las hojas para realizar los comentarios que se consideren oportunos.

*Marca con una cruz la proposición que te parezca más correcta, en cada una de las siguientes cuestiones:*

**1.** El estudio de la respiración en los seres vivos nos muestra que:

**a)** Las plantas verdes y los animales, siempre respiran consumiendo oxígeno y desprendiendo dióxido de carbono **lo mismo de día que de noche.**

**b)** Las plantas verdes **sólo respiran por la noche.**

**c)** Las plantas verdes **durante el día** respiran al revés que los animales ya que para ello toman dióxido de carbono y desprenden oxígeno.

**2.** Supongamos que toda la atmósfera que rodea a la Tierra desapareciese totalmente, quedando el planeta rodeado por el vacío. En estas condiciones puede afirmarse que el peso de los cuerpos:

**a)** Disminuiría

**b)** Se haría cero

**c)** Aumentaría

**d)** No cambiaría

**3.** Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba alcanzando una altura de 6 m sobre el suelo. Considerando nulo el rozamiento con el aire ¿qué altura alcanzará otra piedra lanzada con la misma velocidad pero cuya masa es la mitad que la de la primera?

**a)** 3 m

**b)** 6 m

**c)** 12 m

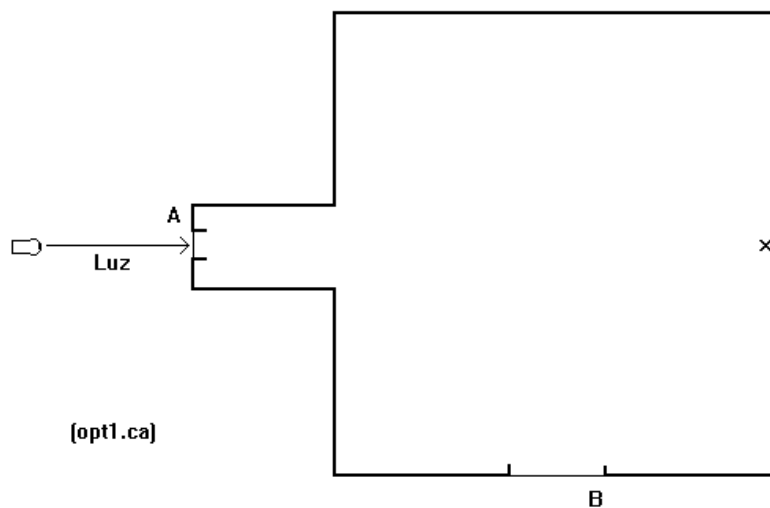
**4.** Experimentalmente se comprueba que al calentar mucho el hierro se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque:

**a)** Los átomos de hierro se alejan entre sí debilitándose los enlaces que los unen, rompiéndose muchos de ellos, etc.

**b)** Los átomos de hierro inicialmente duros, se van haciendo cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

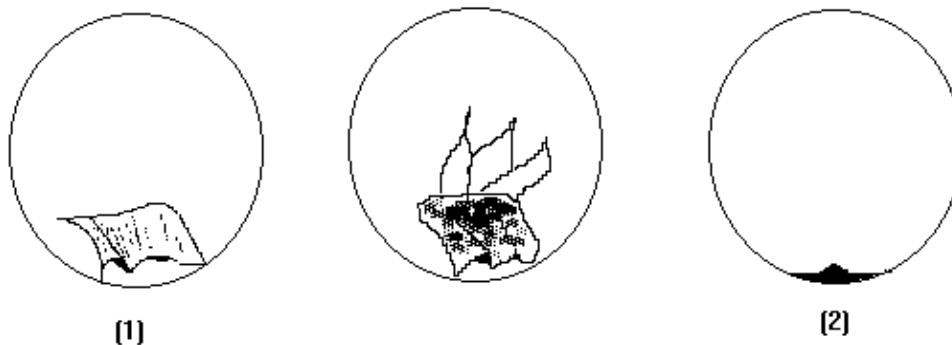
5. Se ha construido una caja de paredes opacas la cual sólo tiene dos ventanas acristaladas A y B, haciéndose el vacío dentro de la misma. Si la ponemos entonces en un cuarto oscuro y se envía un fino haz de luz horizontal, como se muestra en la figura, un observador que mirase por la ventana B, podría ver:



- a) Un rayo de luz horizontal y el punto x iluminado.
- b) Sólo un rayo de luz horizontal.
- c) Sólo el punto x iluminado.

6. Dentro de una esfera cerrada y transparente hay un trozo de papel. Mediante una lupa hacemos que arda dicho papel hasta quemarse totalmente. Si pesamos todo el conjunto antes (1) y después (2) de la combustión, resultará que:

[quim1.ca]



- a) El peso de (2) será igual que el de (1).
- b) El peso de (2) será menor que el de (1).
- c) El peso de (2) será mayor que el de (1).

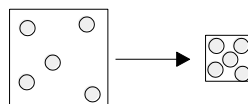
## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

7. Una de las propiedades más conocidas del aire es lo mucho que se puede comprimir. Podemos comprobar fácilmente dicha propiedad utilizando una jeringuilla con aire a la que tapamos la salida mientras presionamos por el otro extremo. Esto se interpreta correctamente diciendo que:

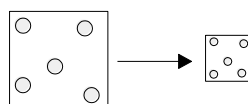
a) El aire es como una esponja (todo continuo) que al apretar se comprime.



b) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar se hacen menores.



c) Al presionar, las propias partículas se comprimen, reduciéndose así su tamaño.



8. Un bloque de hierro ha sido lanzado hacia la derecha por una superficie lisa y plana contra un muelle elástico tal y como se representa en los dibujos, considerándose nulo el rozamiento.

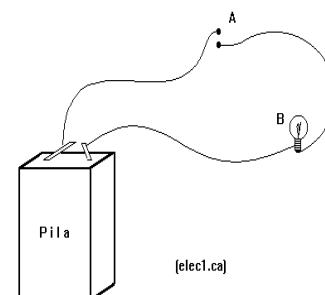


Al chocar, el bloque no se para inmediatamente, sino que sigue moviéndose hacia la derecha durante un tiempo y mientras esto ocurra empujará al muelle:

- a) Cada vez con más fuerza.
- b) Cada vez con menos fuerza.
- c) Siempre con la misma fuerza.

9. En el circuito de la figura adjunta se observa que en cuanto conectamos el interruptor A, se enciende la bombilla B. Esto ocurre así de rápido porque:

- a) Las cargas eléctricas que constituyen la corriente (electrones) se desplazan por el cable a la velocidad de la luz.
- b) Las cargas eléctricas se mueven por el cable a una velocidad enorme pero sin llegar a la de la luz.
- c) Aunque los electrones se desplazan muy despacio, la velocidad con que se propaga la energía eléctrica es prácticamente igual a la de la luz.

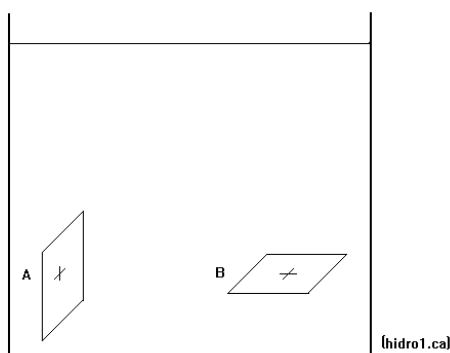


## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

**10.** Como sabes, los ratones se reproducen muy rápidamente. Si se realizase un experimento consistente en cortar la cola a unos ratones y a todos sus descendientes poco después de nacer, para que jamás pudieran utilizar este órgano, al cabo de muchas generaciones se observaría que a causa de este hecho:

- a) De pronto comenzarían a nacer ratones sin cola.
- b) La cola de los ratones sería más corta que la de sus antepasados.
- c) El tamaño de la cola no habría disminuido respecto a sus antepasados.

**11.** Dos láminas planas se encuentran casi en el fondo de un estanque lleno de agua según se indica en el esquema adjunto. Puede afirmarse entonces que la presión sobre el centro de la lámina B será:



- a) Menor que sobre el centro de la A.
- b) Igual que sobre el centro de A.
- c) Mayor que sobre el centro de A.

*Indicad señalando con una cruz en donde corresponda, vuestra opinión sobre cada una de las cuestiones siguientes:*

**12.** Quizás habrás tenido ocasión de observar en la carne de algunos animales muertos o en frutas podridas, numerosos y pequeños "gusanos". Esto se debe a que la materia de los seres vivos, a diferencia de los minerales, tiene la propiedad (cuando se pudre) de originar diminutas larvas que crecen alimentándose de los jugos o líquidos que suelta.

- a) Cierto
- b) Falso
- c) No lo se

**13.** Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante también lo será.

- a) Cierto
- b) Falso
- c) No lo se

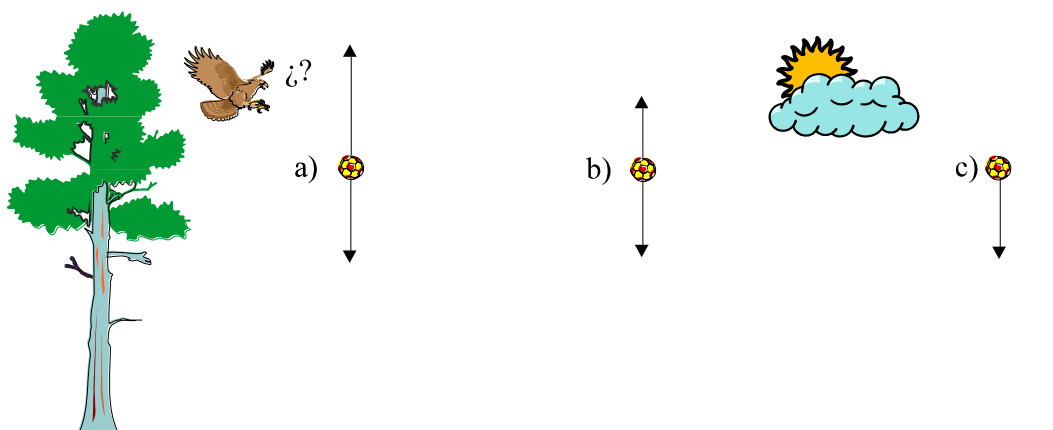
## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

Contesta las cuestiones siguientes según las instrucciones que se dan en cada caso:

**14.** De entre los siguientes elementos subraya únicamente aquellos que en tu opinión sean metales:

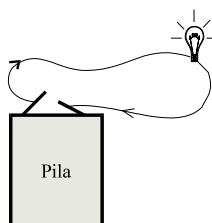
Cloro, plata, cobre, mercurio, calcio, sodio, oro, potasio, hierro.

**15.** Se lanza un objeto verticalmente desde el suelo hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento con el aire, señalar con una cruz cual de los siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre el objeto que sube, poco antes de que alcance su máxima altura.

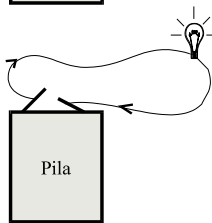


**16.** Señala con una cruz cuál de las situaciones siguientes describe mejor lo que le ocurre a la corriente eléctrica:

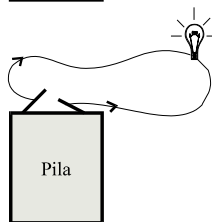
**a)** Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



**b)** La misma corriente que sale de la pila por un polo y pasa por la bombilla, le entra a la pila por el otro polo.



**c)** La corriente sale de ambos polos por la pila y se consume en la bombilla.

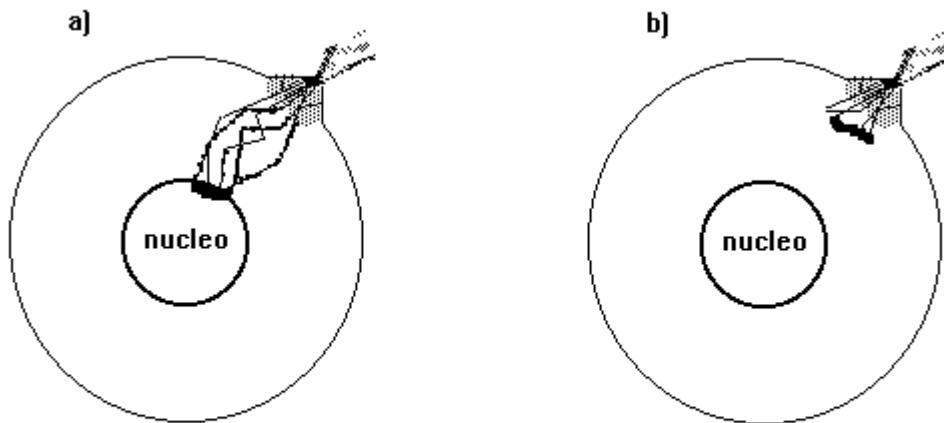


## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

**17.** En Química se utilizan a menudo expresiones como elemento, mezcla y compuesto. Podemos afirmar, por ejemplo, que según el lenguaje químico (señalar V de verdadero o F de falso a la izquierda de cada proposición):

- a) El alcohol puro es un elemento.
- b) El agua es una mezcla de hidrógeno y oxígeno.
- c) El aire es un compuesto.

**18.** Como ya sabes, los volcanes cuando entran en erupción arrojan al exterior, grandes cantidades de gases y de lava ardiente que provienen del interior de la Tierra. Señala cuál de los dos esquemas siguientes representa en tu opinión más correctamente el interior de un volcán:



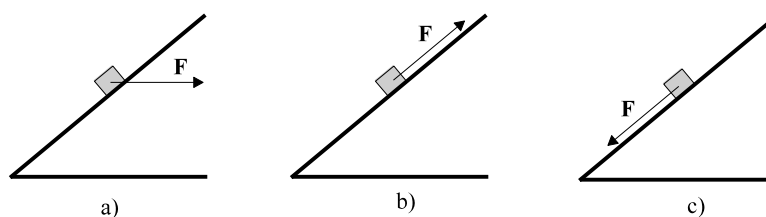
geol.ca

## ANEXO 2. CONCEPTO DE FUERZA Y CAÍDA DE GRAVES

### A. Concepto de fuerza

1ª) Las observaciones más comunes muestran que para que un cuerpo permanezca en movimiento, es preciso que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que si cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones **se deben interpretar correctamente** diciendo que las fuerzas son la causa de: -----  
-----

2ª) Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar señalando con una cruz donde corresponda, cuál de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende:



mecal.cdr

3ª) Señalad verdadero, falso o no lo se, en cada una de las siguientes proposiciones:

- Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la fuerza resultante es nula, dicho cuerpo deberá de estar en reposo.
- El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante que esté actuando sobre él.
- Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante, también lo será.

En la tabla siguiente se expresan los resultados obtenidos al pasar estas cuestiones a diferentes colectivos de estudiantes dentro de los 10 días siguientes a que los contenidos teóricos correspondientes hubieran sido tratados en clase.

En la primera columna se especifica el curso y la edad de los alumnos, en la segunda el total de alumnos encuestados, en las tres siguientes los porcentajes de respuestas erróneas, y en las dos últimas el porcentaje de los que contestaron equivocadamente a las tres cuestiones o, al menos, a una de las tres. En la tercera cuestión se calificó como respuesta errónea aunque sólo señalasen una de las propuestas como verdadera.

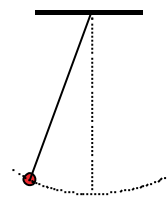
Curso y edad	N	1ª	2ª	3ª	Todas mal	Alguna o todas mal
2º de BUP (15/16)	196	85	69	98	49	100
3º de BUP (16/17)	213	89	60	95	52	99
COU (17/18)	181	79	55	89	50	97
Magisterio (18/19)	145	80	70	98	60	100
2º de Químicas (19/20)	140	70	65	90	52	95

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

### B. Caída de graves

1ª) Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuánto tiempo tardará otro de doble masa dejado caer desde la misma altura?

2ª) En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar señalando Si, No o No lo se, en cada caso, si el periodo del péndulo dependerá de cada uno de los siguientes factores:



- Longitud del hilo
- Masa de la bola que cuelga.
- Valor de la gravedad.

3ª) Se lanza verticalmente hacia arriba un objeto, alcanzando éste una altura máxima de 6 m. ¿Qué altura alcanzará otro cuerpo lanzado con la misma velocidad inicial, si su masa es la mitad que la del primero?

En la tabla siguiente se expresan los resultados obtenidos al pasar estas cuestiones, sobre caída de graves, a diferentes colectivos de estudiantes dentro de los 10 días siguientes a que los contenidos teóricos correspondientes hubieran sido tratados en clase.

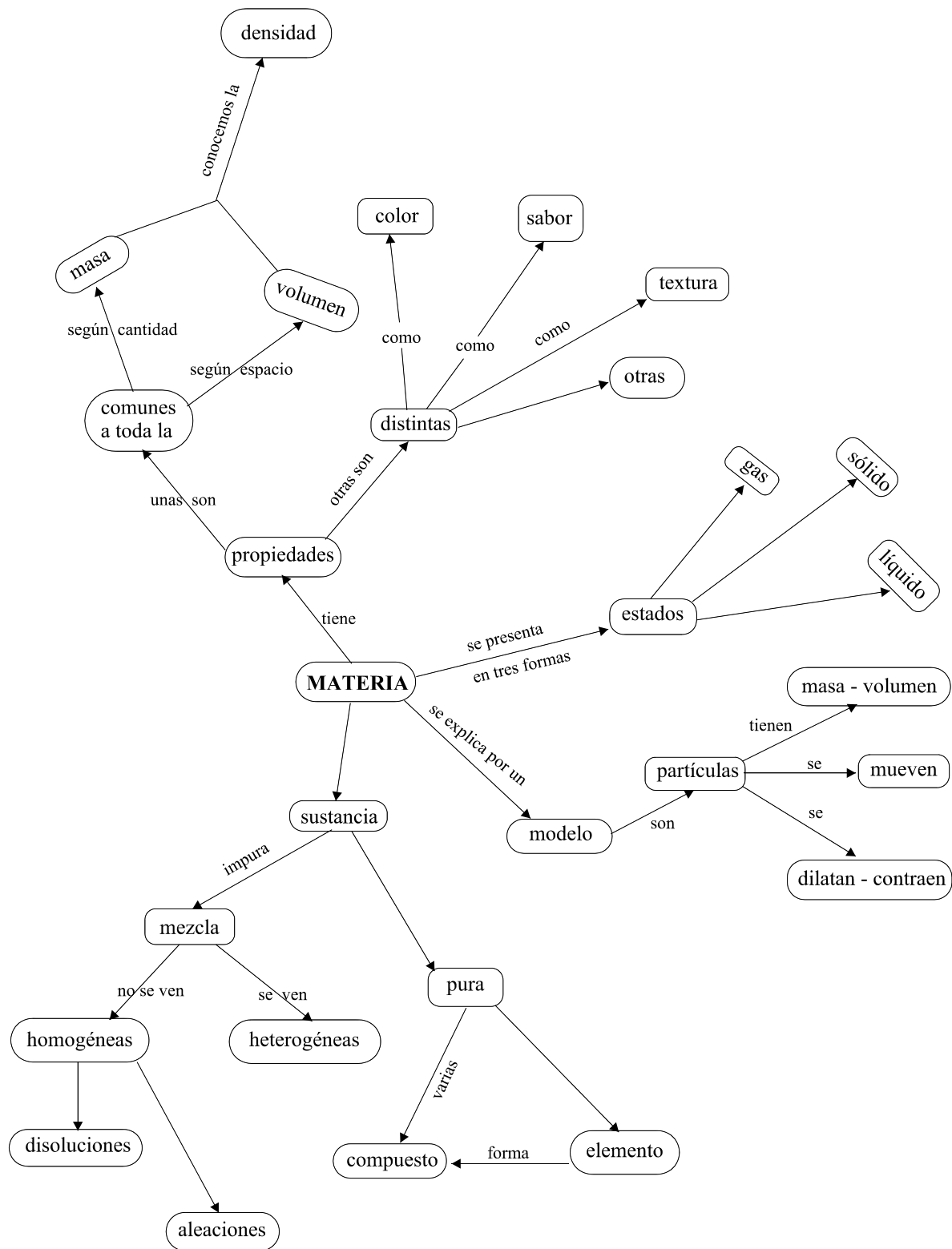
En la primera columna se especifica el curso y la edad de los alumnos, en la segunda el total de alumnos encuestados, en las tres siguientes los porcentajes de respuestas erróneas, y en las dos últimas el porcentaje de los que contestaron equivocadamente a las tres cuestiones o, al menos, a una de las tres.

Curso	N	1ª	2ª	3ª	Todas mal	Alguna o todas mal
2º de BUP (15/16)	196	73	83	78	63	97
3º de BUP (16/17)	213	70	82	73	55	93
COU (17/18)	181	54	65	67	37	88
Magisterio (18/19)	145	66	67	75	47	87
2º de Químicas (19/20)	140	39	66	50	25	79

*Analizar críticamente los resultados de las dos tablas anteriores*



### ANEXO 3. MAPA CONCEPTUAL SOBRE ESTRUCTURA DE LA MATERIA



Concepciones alternativas

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

### ANEXO 4. DIFERENCIAS ENTRE IDEAS ALTERNATIVAS

El cuestionario del anexo 1 fue pasado (excepto la cuestión 2) a distintos colectivos de alumnos de EGB (13-14 años), segundo de BUP (15-16 años), tercero de BUP (16-17 años), COU (17-18 años) y segundo curso de la licenciatura de químicas (19-20 años). En las tablas y gráficas siguientes se exponen los resultados obtenidos. En la columna de la izquierda se ha escrito la información mínima para reconocer de qué cuestión concreta se trata. Las cuestiones de mecánica se han resaltado en negrilla.

TABLA 1. Porcentajes de respuestas erróneas sobre el total de respuestas en cada una de las cuestiones

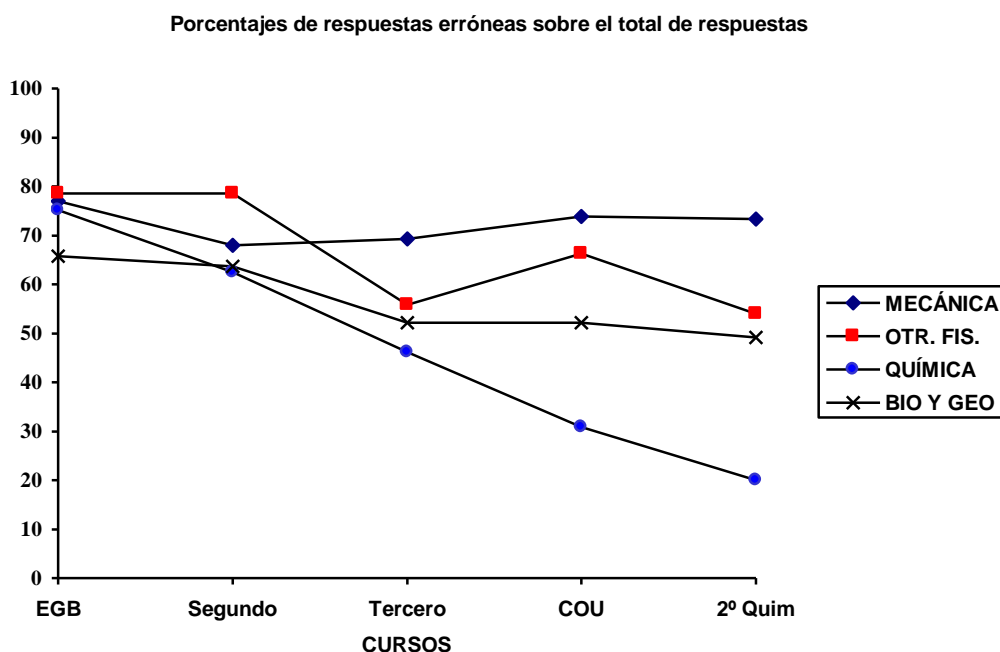
Cuestión	EGB N=110	2º BUP N=72	3º BUP N=62	COU N=62	2º Químicas N=82
1. Respiración de las plantas	74'5	91'5	88'5	83'9	71'3
<b>2. Caída de graves</b>	<b>81'2</b>	<b>62'3</b>	<b>45'9</b>	<b>48'4</b>	<b>55'0</b>
3. Fusión átomos	74'2	36'5	9'4	1'6	5'0
4. La luz se ve	79'8	75'0	57'7	71'2	57'3
5. Combustión	76'9	54'5	40'7	39'3	17'1
6. Naturaleza del aire	58'8	40'0	23'6	3'4	3'7
<b>7. Bloque-muelle</b>	<b>81'7</b>	<b>90'0</b>	<b>96'7</b>	<b>93'4</b>	<b>87'8</b>
8. Velocidad de electrones	80'2	77'6	64'7	89'8	82'7
9. Ratón-herencia	44'5	47'9	30'0	32'1	46'3
10. Presión hidrostática	75'9	54'4	41'4	41'7	43'9
11. Generación espontánea	68'3	52'3	47'5	31'0	38'2
<b>12. Reposo y fuerza</b>	<b>58'2</b>	<b>40'0</b>	<b>53'4</b>	<b>71'2</b>	<b>67'9</b>
13. Metales	71'3	84'7	74'2	33'9	29'3
<b>14. Objeto hacia arriba</b>	<b>86'8</b>	<b>79'7</b>	<b>81'0</b>	<b>82'5</b>	<b>84'1</b>
15. Intensidad de corriente	78'5	78'9	59'3	62'5	32'1
16. Elemento, mezcla, compuesto	94'2	97'0	83'1	76'4	44'7
17. Volcanes	75'3	63'1	42'9	61'4	41'1

TABLA 2. Porcentaje de respuestas erróneas sobre total de respuestas, por bloques

Bloque	EGB N=110	2º BUP N=72	3º BUP N=62	COU N=62	2º Químicas N=82
Mecánica	77'0	68'0	69'3	73'9	73'3
Otros campos de física	78'6	78'6	55'8	66'3	54'0
Química	75'1	62'5	46'2	30'9	20'0
Biología y geología	65'7	63'7	52'2	52'1	49'2

Los resultados de la tabla 2 anterior se pueden comparar mejor en forma de gráfica:

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos



En la tabla 3 se dan los porcentajes de respuestas erróneas calificadas con una nota igual o mayor que 8, entre un rango de 0 y 10 (0 mínima seguridad en que la respuesta es correcta, 10 máxima seguridad en que la respuesta dada es correcta).

TABLA 3. Porcentaje de respuestas erróneas seguras sobre total de respuestas

Cuestión	EGB	2º BUP	3º BUP	COU	2º Químicas
	N=110	N=72	N=62	N=62	N=82
1. Respiración de las plantas	46'7	66'2	60'7	74'2	47'5
<b>2. Caída de graves</b>	<b>47'0</b>	<b>26'1</b>	<b>28'3</b>	<b>32'3</b>	<b>32'1</b>
3. Fusión átomos	32'6	7'9	3'8	1'6	3'8
4. La luz se ve	23'7	18'2	19'2	23'1	15'1
5. Combustión	40'6	19'7	17'2	26'2	8'8
6. Naturaleza del aire	15'5	4'6	7'4	1'7	0'0
<b>7. Bloque-muelle</b>	<b>50'9</b>	<b>40'0</b>	<b>48'3</b>	<b>63'9</b>	<b>55'6</b>
8. Velocidad de electrones	32'4	21'1	8'0	36'7	39'7
9. Ratón-herencia	17'4	18'3	10'0	7'1	11'5
10. Presión hidrostática	30'2	23'5	26'3	20'0	14'6
11. Generación espontánea	43'1	18'8	25'9	12'1	18'4
<b>12. Reposo y fuerza</b>	<b>23'3</b>	<b>12'1</b>	<b>42'1</b>	<b>55'9</b>	<b>56'3</b>
13. Metales	33'0	41'8	37'9	22'4	16'3
<b>14. Objeto hacia arriba</b>	<b>32'2</b>	<b>25'4</b>	<b>43'9</b>	<b>36'1</b>	<b>66'7</b>
15. Intensidad de corriente	40'0	35'2	26'3	28'6	18'5
16. Elemento, mezcla, compuesto	35'1	35'5	36'8	46'3	30'1
17. Volcanes	41'7	29'2	14'5	26'3	19'2

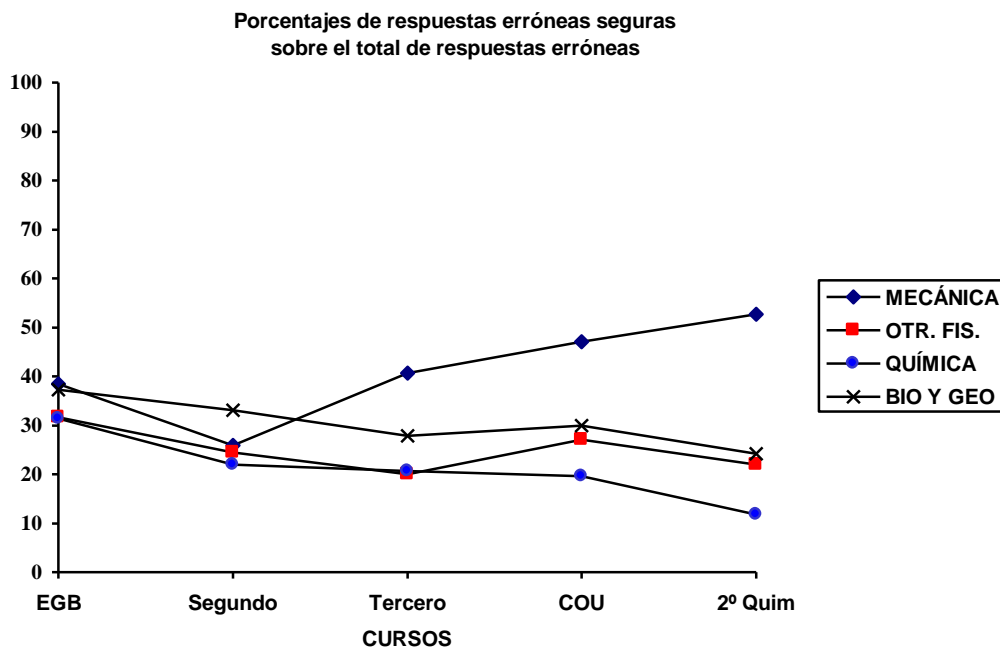
## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos

Otro dato cuyo conocimiento resulta de gran interés es el porcentaje de respuestas erróneas seguras, calculado sobre el total de respuestas erróneas:

TABLA 4. Porcentaje de respuestas erróneas seguras sobre el total de respuestas erróneas, por bloques

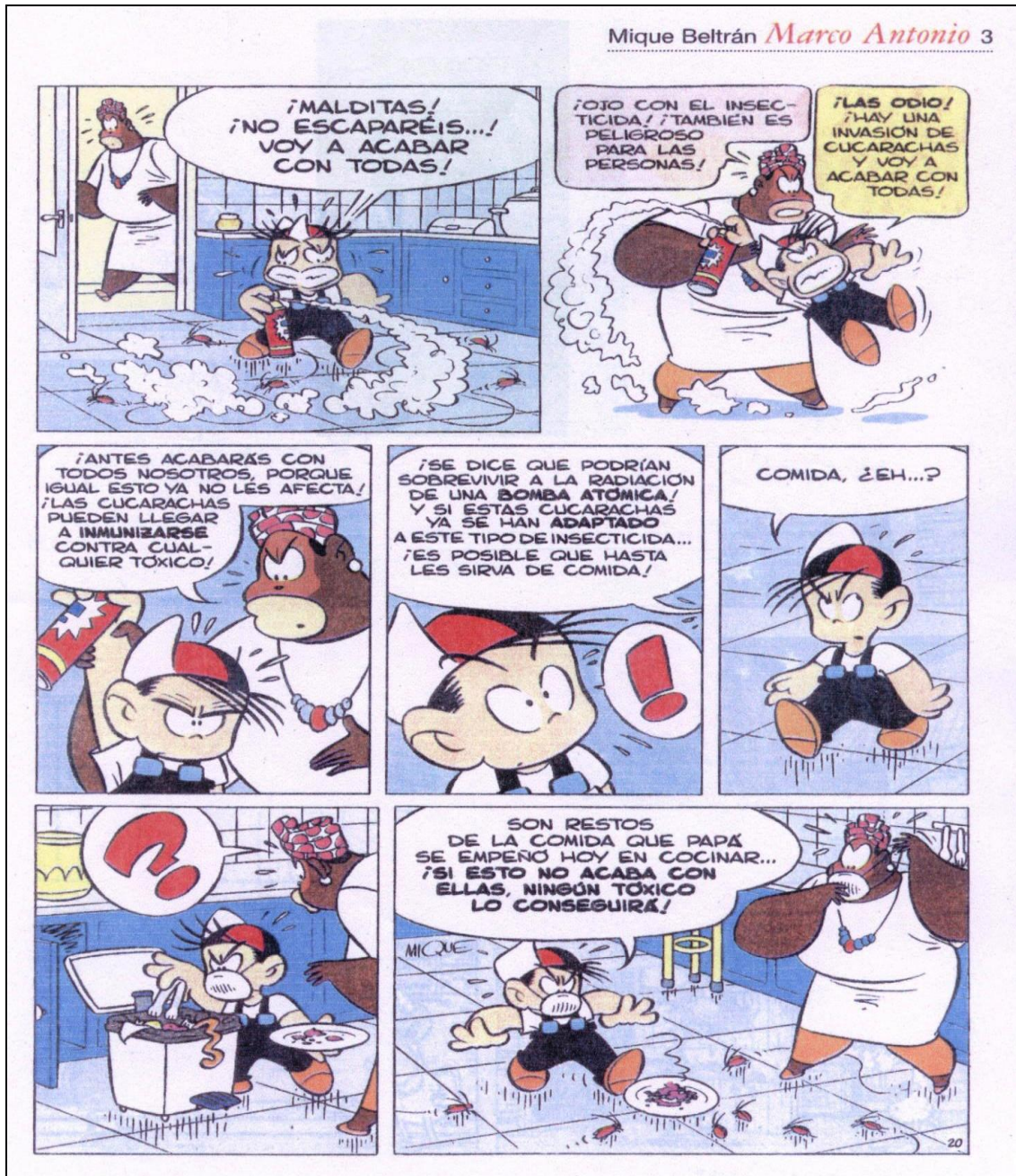
Cuestión	EGB N=110	2º BUP N=72	3º BUP N=62	COU N=62	2º Químicas N=82
Mecánica	38'4	25'9	40'7	47'1	52'7
Otros campos de física	31'6	24'5	20'0	27'1	22'0
Química	31'4	21'9	20'6	19'6	11'8
Biología y geología	37'2	33'1	27'8	29'9	24'2

Los resultados de la tabla anterior se pueden analizar mejor cuando en forma gráfica:



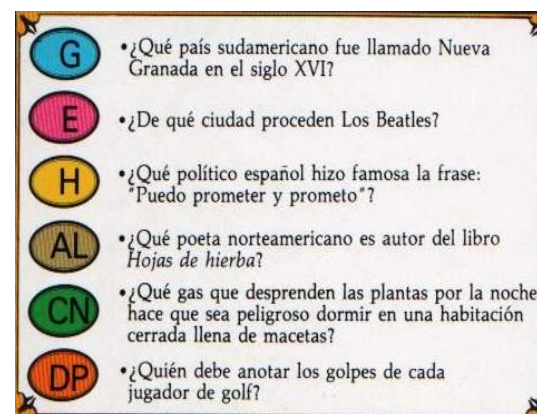
*Analizad críticamente las tablas y gráficas anteriores con el fin comparar la solidez y persistencia de las ideas alternativas en distintos campos o dominios científicos.*

### ANEXO 5. ERRORES CONCEPTUALES EN CÓMICS Y OTROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN O ENTRETENIMIENTO





## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos



"La nave que transportaba al chimpancé se elevó 253 km con una velocidad (orbital) de 9.426 km/h aproximadamente. Ham (*el chimpancé*), experimentó 6'6 minutos de ingravidez durante los 16 minutos y medio que duró su viaje".

<http://www.elmundo.es/elmundo/2011/01/31/ciencia/1296474158.html>

(Los Picapiedra, Star Wars y chimpancé en órbita, recopilados por David Giner, alumno del Máster para Formación del Profesorado de Secundaria. 2010-11. Universidad de Valencia)



# La ciencia de las emociones

**Con las montañas rusas, la emoción está asegurada. Los técnicos dicen que dentro de unos años estos generadores de impresiones tendrán más que ver con lo que aguante el cuerpo que con lo que sea capaz de hacer la Ciencia**

XAVIER DURAN

**D**esde lo alto del Texas Giant se puede observar la ciudad de Dallas, a algo más de veinte kilómetros. Pero los pasajeros que los utilizan tienen otras preocupaciones. El Texas Giant es una de las montañas rusas más impresionantes del mundo. Desde su altura máxima de 42 metros —más que una casa de catorce pisos— lleva a los intrépidos visitantes a una velocidad que supera los cien kilómetros por hora.

Las leyes de la física y los sistemas de seguridad mantienen al pasajero bien sujeto a su asiento y el vehículo bien pegado a los raíles. Pero con el estómago revuelto y los órganos del equi-

librio en pleno desbarajuste, no es probable que todo el mundo lo acepte con naturalidad.

Pese a la sofisticación de su diseño actual, las montañas rusas se basan en el mismo principio físico con el que nacieron hace casi dos siglos. Se trata de aprovechar la energía potencial del punto más elevado para que el vagón no necesite más impulsos mecánicos, y al tiempo calcular las curvas, subidas y bajadas tanto para que las fuerzas no le hagan salir del recorrido como para que los pasajeros no soporten una carga excesiva.

Para entender por qué el punto más elevado de las montañas rusas siempre se encuentra después de la primera subida —que se supera mecánicamente— debemos explicar el principio de conservación de la energía. Este nos dice que la suma de la energía potencial —la debida a la posición respecto al suelo o a la superficie de referencia— y la cinética —la debida a la velocidad— se mantiene constante. Si sostenemos un objeto en el aire veremos que posee una energía potencial respecto al suelo. Si lo soltamos, a medida que pierde energía potencial, gana energía cinética. En el momento justo de llegar al suelo, la energía potencial es de 0, mientras que la energía cinética es máxima, es decir, que ha llegado a la velocidad más elevada.

## Energía máxima

Sólo las pérdidas de energía por fricción alteran este equilibrio. El objeto quieto en el suelo no tiene ni energía potencial ni cinética. La energía se ha desprendido en el choque final y se ha disipado en forma de calor.

En el caso de las montañas rusas, en el punto más elevado del recorrido la energía potencial es máxima. Esta se



## EL DATO

### De vértigo

En una montaña rusa, al bajar por una pendiente de 60 metros con 60° de inclinación, los efectos son los siguientes:

- Se alcanza una velocidad de 110 km/h.
- Durante el descenso, el peso de cada persona se reduce a la mitad
- Cuando se llega abajo, el peso de la persona se multiplica por 3.

## Del hielo al ordenador

■ Hace tres siglos había en Rusia unos largos toboganes de hielo por los que se deslizaba la gente en trineo. A principios del siglo XIX aparecen en París las primeras atracciones basadas en la misma idea, pero con raíles de madera en vez del hielo y vagonetas de ruedas en vez de trineos. Por ello, en muchos países se les llama montañas rusas.

Desde entonces, esta atracción ha evolucionado mucho. De las primeras pistas sinuosas se ha pasado a impresionantes diseños, que se suelen construir con acero dulce, después de probar diversas aleaciones con níquel o molibdeno. Además, modernas técnicas de análisis de materiales detectan el mínimo defecto en la estructura.

El diseño por ordenador contribuye a resolver los complejos cálculos para el radio y la inclinación de cada curva, la estructura de cada rizo, la colocación de las ruedas de cada vagoneta, etcétera. Y esto no es todo. La seguridad se controla con un ordenador central, al que llegan millones de datos, que rige la distancia entre vagonetas o detecta y alerta cualquier problema en la instalación.

Afirman los expertos que las montañas rusas pueden ser cada vez más impresionantes y que los problemas no son de ingeniería. Las montañas rusas del futuro tendrán más que ver con lo que puede soportar el cuerpo humano que con lo que es capaz de hacer la técnica.



## ANEXO 6. ERRORES CONCEPTUALES EN LIBROS DE TEXTO Y REVISTAS DE INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



Los peces respiran en el agua.

### Los animales acuáticos respiran por branquias

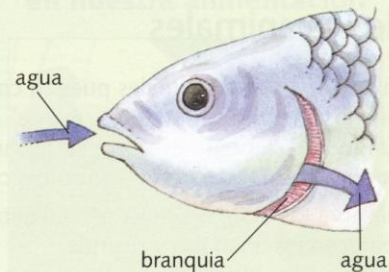
La mayoría de los animales acuáticos, como los peces, no respiran aire, sino agua. Estos animales tienen unos órganos llamados **branquias**. Por las branquias circula el agua continuamente, al igual que por los pulmones circula el aire.

Hay animales que viven en el agua pero respiran por los pulmones: son los mamíferos marinos, como la ballena y el delfín. Estos animales tienen que salir cada cierto tiempo a la superficie para tomar aire. Con los pulmones llenos de aire, se sumergen y aguantan bastante tiempo bajo el agua.



### Investiga

#### Las branquias de un pez



Observa y responde.

- ¿Dónde están situadas sus branquias?
- ¿De qué color son? ¿Cómo son?
- ¿Está comunicada la boca del pez con las branquias?
- Explica por qué abren y cierran los peces la boca cuando están en el agua.

### Actividades

#### PALABRAS CLAVE

- 1 Escribe los órganos de la respiración de cada uno de los animales siguientes:

Palabras clave		
- tráqueas	- caballo	- delfín
- pulmones	- trucha	- escarabajo
- branquias	- mariposa	- merluza

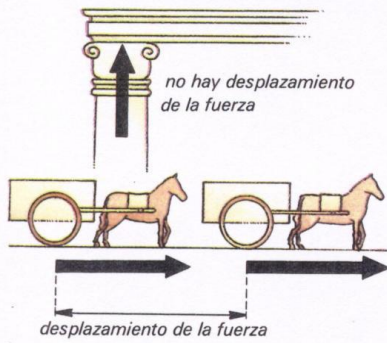
#### EXPLICA

- 2 ¿Pueden las personas respirar bajo el agua? ¿Y los delfines? Explica tu respuesta.





**13.1 ENERGÍA, TRABAJO Y POTENCIA**



**Desplazamiento de una fuerza.**

- Podemos clasificar las fuerzas en dos grandes grupos:
- Las fuerzas que se desplazan mientras actúan sobre los cuerpos.
  - Las fuerzas que no se desplazan mientras actúan sobre los cuerpos.

La fuerza que ejerce una mula que tira de un carro es un ejemplo de fuerza que se desplaza, mientras que la fuerza que ejerce una columna que soporta una bóveda es un ejemplo de fuerza que no se desplaza.

Se llama desplazamiento de una fuerza la distancia, en línea recta, que hay entre las posiciones inicial y final de su punto de aplicación.



**El trabajo que realiza una fuerza.**

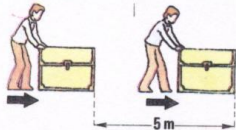
Cuando se aplica una fuerza sobre un cuerpo y dicho cuerpo se desplaza debido a la acción de esta fuerza, se dice que la fuerza ha realizado un trabajo.

Así, por ejemplo, cuando se tira de un carro, se lanza una pelota o se levanta un saco de cemento, se está realizando un trabajo.

Las fuerzas que se desplazan mientras actúan sobre los cuerpos son las fuerzas que originan y mantienen el desplazamiento de dichos cuerpos. Por tanto, las fuerzas que se desplazan son las únicas capaces de realizar un trabajo. Por el contrario, las fuerzas que no se desplazan no realizan un trabajo.

Por ejemplo, un padre que sostiene en hombros a su hijo y está quieto no realiza trabajo, aunque esté haciendo un esfuerzo. Si el padre echa a andar con el hijo a cuestas, entonces sí realiza un trabajo.

**EJERCICIO RESUELTO**



Para desplazar un baúl una distancia de 5 m se le aplica una fuerza constante de 20 N.

¿Cuál será el trabajo realizado por esta fuerza?

La fórmula del trabajo es:

$$W = F \cdot d$$

$$\begin{array}{ccc} \boxed{?} & \boxed{20 \text{ N}} & \boxed{5 \text{ m}} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ W & = & F \cdot d \end{array}$$

Por tanto,  $W = 20 \text{ (N)} \cdot 5 \text{ (m)} = 100 \text{ J}$

El trabajo realizado por esa fuerza será de 100 julios.

**Cómo se calcula el trabajo que realiza una fuerza.**

El trabajo realizado por una fuerza que se aplica sobre un cuerpo depende tanto de la intensidad de la fuerza como del desplazamiento producido por dicha fuerza.

Así, por ejemplo, se hace más trabajo al levantar un saco lleno de piedras que al levantar ese mismo saco lleno de plumas.

Del mismo modo, se hace más trabajo al tirar de un carro durante cien metros que al tirar de ese mismo carro durante diez metros.

El trabajo se mide en unidades llamadas julios (J).

Un julio es el trabajo que realiza una fuerza de un newton para desplazar un objeto una distancia de un metro.

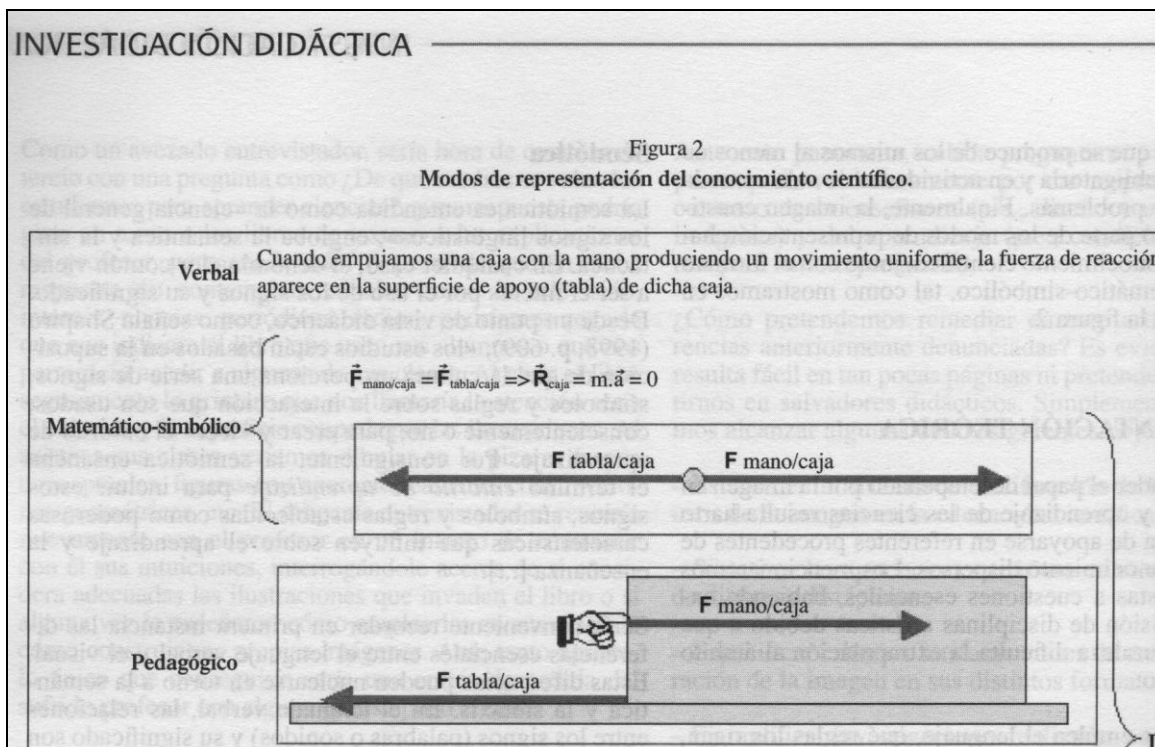
Para calcular el trabajo se aplica la siguiente fórmula:

$$W = F \cdot d$$

En esta fórmula:

- W es el trabajo realizado, medido en julios (J).
- F es la fuerza aplicada, medida en newtons (N).
- d es el desplazamiento efectuado por el cuerpo, medido en metros (m).

## 5. El aprendizaje de los conocimientos teóricos



Revista. *Enseñanza de las Ciencias*. 2006, 24 (1) y 2002, 20, (3) , respectivamente.

(Hemos de precisar que las figuras anteriores, aunque reproducidas en una revista de investigación didáctica, corresponden a libros de texto y que en los trabajos en los que se utilizaron, no se trataba de analizar los posibles errores conceptuales en que pudieran incurrir, sino los elementos simbólicos en ellas empleados).

## **6. LAS RELACIONES ENTRE CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE**

Hasta aquí hemos realizado en este proyecto docente, un estudio en torno a una serie de aspectos que se consideran claves en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (trabajos prácticos, resolución de problemas y la introducción de conceptos teóricos). Los resultados y conclusiones a que se ha llegado en cada uno, son coherentes entre sí y apoyan un modelo de enseñanza de las ciencias en el que se integren el aprendizaje de los conceptos científicos y la familiarización con la metodología científica.

Desde la perspectiva anterior, la actividad de los estudiantes se concibe (según hemos visto) como el tratamiento de situaciones problemáticas de interés con unas características semejantes a las de la investigación científica. Dicha similitud justifica que dirijamos nuestra atención a otros aspectos que, como ya hemos podido apreciar en los temas anteriores, se hallan también indisolublemente unidos al trabajo científico pero que, sin embargo, siguen sin estar adecuadamente contemplados en el aula. Uno de tales aspectos es el que se refiere a las complejas relaciones existentes entre la ciencia y tecnología con la sociedad así como sus repercusiones en el medio ambiente y en la situación del mundo en general (relaciones CTSA).

La inclusión de este aspecto en los currículos de ciencias debería contribuir, entre otras cosas, a que profesores y estudiantes:

- ✓ Adquieran una visión adecuada de los graves problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad (contaminación en todas sus formas, escasez de recursos naturales, degradación de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, superpoblación, aumento del efecto invernadero, etc.), conozcan sus causas más importantes, sus consecuencias y las medidas que se deberían adoptar para avanzar en su solución, lo que supone tener en cuenta el carácter global de dichos problemas y las conexiones existentes entre ellos.
- ✓ Sean capaces de analizar críticamente, diversos desarrollos científico-tecnológicos, evaluando su utilidad, su impacto social, las consecuencias medioambientales, su contribución a la sostenibilidad, etc., y tomar decisiones fundamentadas de aceptación o rechazo.
- ✓ Lleven a cabo acciones y desarrollen comportamientos personales que contribuyan a la solución de los problemas.

No obstante, algunas investigaciones han mostrado que, al igual que ocurre con las ideas alternativas sobre conceptos científicos, existen también toda una serie de ideas espontáneas respecto las relaciones CTSA que constituyen un serio obstáculo para conseguir los objetivos anteriores. Anteriormente ya hemos analizado en el tema 2 de este proyecto las

concepciones simplistas sobre la ciencia, la tecnología y el trabajo científico, por lo que en este nos centraremos en las concepciones espontáneas respecto a los problemas y la situación del mundo en la actualidad.

### ¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?

- ¿Qué interés tiene la inclusión en el currículo de las relaciones CTSA?
- ¿Qué visiones tienen los profesores de ciencias acerca de los problemas del mundo y de las decisiones a tomar? ¿Qué importancia tienen dichas visiones?
- ¿A través de qué tipo de actividades y contenidos se puede favorecer una incorporación más efectiva de las relaciones CTSA en el currículo de ciencias?

## 1. INTEGRACIÓN DE LAS RELACIONES CTSA EN EL CURRÍCULO

El llamado movimiento educativo CTS surgió en los años 60 y 70 en Norteamérica al analizar críticamente las consecuencias sociales y el impacto medioambiental de la tecnología. A comienzos de los años 90, en muchas universidades de Estados Unidos se podían cursar ya licenciaturas completas sobre CTS y diversas asociaciones han impulsado en muchos países programas educativos CTS, como la NSTA (National Association for Science, Technology and Society) norteamericana o la ASE (Association for Science Education) en Gran Bretaña, organizando además diversos encuentros y congresos sobre el tema. También son numerosos los trabajos de investigación publicados acerca de este tema en revistas de Didáctica de las Ciencias y algunas de ellas, como *International Journal of Science Education* en Inglaterra o *Alambique* en España le han dedicado números monográficos. Además, existen revistas específicas como *Environmental Education Research* que se publica desde 1995. En nuestro país, se viene produciendo una evolución positiva en cuanto a la atención prestada a las relaciones CTSA en la educación científica, como muestra la incorporación en los currículos oficiales de ciencias de objetivos y contenidos CTSA y la publicación de gran cantidad de proyectos, investigaciones, libros y materiales didácticos sobre el tema. Muchos profesores de ciencias están convencidos de que una causa del desinterés de los estudiantes para aprender ciencias es que en la asignatura los contenidos sean excesivamente abstractos y no se contemplen de forma adecuada estos aspectos (aunque también hay quienes ven en ello una desviación o, al menos, un peligro de que se produzca).

*¿Por qué es necesario integrar las relaciones CTSA en el currículo? ¿No constituye esto una desviación que nos hace perder el tiempo y que nos aleja de lo que realmente debe ser el aprendizaje de los conocimientos científicos, entrando en disquisiciones políticas e ideológicas siempre subjetivas y opinables?*

Como intentaremos mostrar a lo largo de este tema, la integración de las relaciones CTSA en el currículo es positiva porque contribuye al cambio epistemológico, desarrollando una imagen de la ciencia y del trabajo científico más próxima a la realidad (con todo lo que ello implica), pero también porque influye de forma determinante en el aprendizaje, contribuyendo a dar más sentido a los estudios realizados y favoreciendo, en particular, **el interés** (cambio axiológico) de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje y, de este modo, una mejor preparación científica.

Existen además otras razones que avalan dicha integración. En efecto:

No es exagerado afirmar que actualmente estamos viviendo en una situación de auténtica emergencia planetaria, marcada por toda una serie de graves problemas estrechamente relacionados: superpoblación, contaminación y degradación de los ecosistemas, agotamiento de los recursos naturales, desequilibrios sociales y económicos, conflictos destructivos, pérdida de diversidad biológica y cultural... La gravedad de la situación y la insuficiente atención de la ciudadanía a la misma, hizo que desde diversas conferencias internacionales sobre medio ambiente y desarrollo, se realizara una demanda explícita a los educadores de todas las materias científicas, para que contribuyesen a la formación de ciudadanos competentes para participar en la toma fundamentada de decisiones relacionadas con el futuro de nuestro planeta. Naciones Unidas, por su parte, declaró el periodo 2005-2014 como la Década de la Educación para la Sostenibilidad.

Sin embargo, algunos obstáculos dificultan que los docentes prestemos la suficiente atención a los requerimientos citados e incluyamos de forma efectiva el problema de la situación de emergencia planetaria en el currículo, y el objetivo de capacitar a la ciudadanía para la participación activa en la protección del medio ambiente y en la utilización racional de los recursos naturales, queda todavía lejos. En nuestra opinión, uno de dichos obstáculos son las concepciones espontáneas sobre los problemas relativos a la situación del mundo.

## 2. CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS SOBRE LOS PROBLEMAS RELATIVOS A LA SITUACIÓN DEL MUNDO

*Enumerad posibles ideas espontáneas, comportamientos y actitudes, que puedan afectar al conjunto de la ciudadanía (y también a los educadores) y que actúen como obstáculos para poder comprender los graves problemas relativos a la situación del mundo a los que hemos de hacer frente.*

Entre otras, cabe citar las siguientes:

- ✓ Una primera y grave dificultad estribaría en la **falta de tradición para abordar problemáticas globales**, como la situación del mundo, que requieran un tratamiento sistémico. Esta tendencia a centrarse en lo inmediato es tan general que algunos autores se preguntan si ello no revelará una incapacidad humana *innata* para tener en cuenta posibles consecuencias a medio y largo plazo. Como reflejo de ello, en la enseñanza los problemas son presentados, en el mejor de los casos, aisladamente, sin realizar un esfuerzo de integración. Ni siquiera cuando el currículo incluye elementos de educación ambiental se suele estudiar la problemática global de la situación del mundo, dado que se pone el acento casi exclusivamente en el medio “natural”, sin considerar sus relaciones con otros factores (económicos, culturales, políticos...). No es preciso, sin embargo, recurrir a los genes para comprender por qué los seres humanos tenemos tendencia a centrarnos en lo más próximo tanto espacial como temporalmente. En efecto, esta falta de atención a los problemas globales del planeta tiene históricamente una justificación, que remite a una segunda y enraizada concepción-obstáculo:



- ✓ El arraigado hábito de **considerar el planeta como inmenso**, provisto de recursos prácticamente ilimitados y, por tanto, prácticamente inmodificable por la actividad humana. Una concepción razonable hasta hace apenas un siglo, mientras la población mundial se mantuvo en niveles muy por debajo de los valores actuales y el desarrollo tecnocientífico no había globalizado el planeta. Pero ya no podemos seguir percibiendo los problemas como acotados, lejanos o todavía por llegar, ya que muchos de ellos (aumento del efecto invernadero, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, contaminación, agotamiento de recursos naturales, pérdida de biodiversidad, etc.), han adquirido un carácter global. Nuestra vida y la de muchas otras especies dependen de equilibrios bastante frágiles que, debido a esos problemas ... se están rompiendo.
- ✓ Pensar que las soluciones a muchos de los problemas generados por el desarrollo científico y tecnológico, como pueden ser la lluvia ácida o el cambio climático, dependen únicamente de un mayor grado de ese mismo desarrollo que permita **crear tecnologías más avanzadas con las que resolver dichos problemas**. De acuerdo con esta idea, la solución a estos problemas sería solo cuestión de tiempo.
- ✓ Otra tradición estrechamente asociada a las anteriores y que puede dificultar también los planteamientos globales, es la **defensa de lo más próximo**, es decir, de “lo propio” (nuestra familia, nuestro clan, nuestro país, nuestra especie,...) frente a “lo exterior”, visto como peligro que hay que vencer, según una estrategia de “ellos o nosotros”. Ello se traduce en la valoración de lo más próximo, en abordar los problemas “nuestros” y a corto plazo, sin pensar en los otros ni en las generaciones futuras. Actitudes y comportamientos criticables no solo por razones éticas, sino por constituir la expresión de un egoísmo poco inteligente, que no toma en consideración las consecuencias, *para nosotros mismos y nuestros hijos*, de las acciones guiadas por intereses particulares inmediatos.
- ✓ Complementariamente a la idea anterior, existe la **tendencia a responsabilizar exclusivamente a otros (la gran industria, la tecnociencia, los políticos...) de los problemas del planeta**, lo que puede llevar a pensar que si no somos responsables no nos toca hacer nada o bien a considerar que las acciones que podamos realizar, son irrelevantes. Nuestro posible ahorro energético, se señala por ejemplo, es algo insignificante frente al enorme consumo de la gran industria... aunque resulta fácil mostrar, con cálculos bien sencillos, que las “pequeñas” reducciones per cápita de consumo energético, al multiplicarlas por los millones de personas que en el mundo pueden realizar dicho ahorro, llegan a representar cantidades ingentes de energía, con su consiguiente reducción de la contaminación ambiental. Esta minusvaloración del poder de las propias acciones, conecta con una nueva concepción-obstáculo, particularmente grave para los educadores:
- ✓ La idea de la supuesta **“inutilidad” de la educación para promover comportamientos compatibles con la sostenibilidad** y salir al paso de los habituales comportamientos depredadores: la mayoría de nosotros, se afirma, seguimos consumiendo absurdamente petróleo y haciendo irrespirable el aire, pese a conocer las consecuencias; y se ofrecen muchos más ejemplos, como llamar la atención acerca de cómo queda una playa tras un día de fiesta. Pero estas afirmaciones no tienen en cuenta que hay todo un clima social (incluyendo una publicidad enormemente eficaz) que empuja a muchos de esos comportamientos.

No cabe extrañarse de que resulte difícil modificar ciertos hábitos adquiridos, fruto de una determinada "educación" reiterada y que vienen a mostrar, precisamente, su eficacia. Eso mismo permite suponer que los cambios deseados se producirán mediante acciones educativas menos puntuales, más constantes.

- ✓ Es importante referirse, como acabamos de hacer, a los aspectos positivos de las situaciones, porque quizás una de las mayores dificultades con las que tropiezan los cambios de comportamiento proceda de la **insistencia que suele hacerse en la enumeración de los problemas sin la consideración de las posibles soluciones**. En efecto, estudiar exclusivamente los problemas provoca, en el mejor de los casos, indignación y en el peor desesperanza. Es preciso, pues, dedicar la máxima atención al estudio de las soluciones, a explorar futuros alternativos y, sobre todo, a participar en acciones que favorezcan dichas alternativas para evitar actitudes derrotistas que conducen a la inacción, lo que podría denominarse "competencia en la acción".

Estas preconcepciones-obstáculo y algunas otras, como ciertas barreras de origen religioso e ideológico, que impiden comprender la gravedad de algunos problemas concretos como la explosión demográfica o el crecimiento económico indefinido, constituyen tan solo conjeturas para explicar las resistencias a incorporar la atención a la situación del mundo en los currículos científicos, pese a las ocasiones que éstos brindan para abordar funcionalmente dicha problemática. Se precisa, pues, una investigación sistemática de estas y otras preconcepciones y también de las posibles vías para su superación, si queremos lograr una mayor incorporación del profesorado a una educación para la sostenibilidad. Ello abriría, además, nuevas perspectivas a una de las líneas de investigación que más ha contribuido, históricamente, al desarrollo de la Didáctica de las Ciencias como cuerpo de conocimientos: El estudio de las concepciones alternativas. Sin embargo, la literatura publicada en el campo de la Didáctica de las Ciencias, está prestando una atención muy escasa a los problemas globales de la situación del mundo y apenas se han publicado trabajos sobre las preconcepciones de los docentes acerca de dicha situación. La superación de este reduccionismo conceptual constituye un requisito para la mejora de la educación y para el propio desarrollo de la Didáctica de las Ciencias como un cuerpo global y coherente de conocimientos.

### **3. LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA DE LOS CIUDADANOS (ALGO MÁS QUE SABER REPETIR CONTENIDOS)**

*Una de las razones más aceptadas para la integración de las relaciones CTSA en el currículo es el potencial que se le atribuye para formar ciudadanos científica y tecnológicamente alfabetizados, competentes para tomar decisiones fundadas y llevar a cabo acciones responsables. ¿En qué aspectos educativos concretos se puede operativizar este objetivo? En otras palabras: ¿Qué competencias deberían desarrollar los estudiantes científica y tecnológicamente alfabetizados?*

Algunos autores definen la alfabetización científica como "la capacidad de utilizar el conocimiento científico, identificar preguntas relevantes y extraer conclusiones basadas en evidencias, con la finalidad de comprender y ayudar a tomar decisiones en relación a los fenómenos naturales y a los cambios introducidos a través de la actividad humana"

considerando que las competencias básicas de una persona científicamente alfabetizada son: reconocer preguntas que pueden ser investigadas científicamente, identificar o proponer evidencias para responder a las preguntas, extraer conclusiones y evaluarlas, comunicar conclusiones válidas y demostrar la comprensión de los conceptos científicos siendo capaz de aplicarlos en situaciones distintas de aquellas en que se aprendieron.

Otros autores, señalan la necesidad de que los estudiantes:

- ✓ Tengan una visión adecuada de cuáles son los principales problemas a que ha de hacer frente ahora y en un futuro la humanidad, cuáles son sus causas fundamentales y posibles medidas a adoptar.
- ✓ Comprendan el papel de la ciencia y la tecnología en la generación (y también en la solución) de esos problemas.
- ✓ Sean conscientes de la influencia de la sociedad, los centros de poder y los intereses económicos a corto plazo, en el tipo de investigaciones que se realizan y en el uso que se hace de los conocimientos y aplicaciones derivadas de las mismas.
- ✓ Adquieran la competencia para evaluar determinados aspectos e implicaciones del desarrollo científico y tecnológico, particularmente sus riesgos, su impacto social y ambiental, sus posibles beneficios, etc., así como para realizar juicios éticos.
- ✓ Comprendan la importancia de la investigación científica sin limitaciones, pero con un control social que evite la aplicación apresurada de tecnologías no suficientemente contrastadas (principio de precaución).
- ✓ Lleven a cabo acciones y desarrollen comportamientos personales que contribuyan a solucionar los graves problemas globales que afectan al planeta (educación para la sostenibilidad).

Para conseguir los objetivos anteriores se precisa la integración de las relaciones CTSA en el currículo. Dicha integración conviene realizarla funcionalmente a lo largo de cada tema y no reducirla, como se hace muchas veces, a la inclusión al final del tema de unos apartados complementarios sobre relaciones CTSA. En definitiva: en la educación científica es necesario tratar las relaciones CTSA en conjunción con el resto de contenidos de las disciplinas científicas, sin renunciar a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos (sin lo cual no tiene sentido hablar de ciencia) y sin presentar esa construcción como algo ajeno a dichas relaciones.

#### **4. ¿CÓMO INTEGRAR LAS RELACIONES CTSA EN EL CURRÍCULO?**

*Enumerad distintos tipos de actividades que se puedan llevar a cabo con los alumnos y que contribuyan a integrar de forma efectiva los contenidos CTSA en el currículo.*

Las relaciones CTSA se pueden integrar en el currículo utilizando distintas vías (todas ellas complementarias). Entre otras, podemos referirnos a las siguientes:

- ✓ Utilización de nuevas tecnologías
- ✓ Potenciar la relación del centro escolar con el medio
- ✓ Llevar a cabo en el centro escolar diversas acciones (locales) para avanzar en la solución de algunos problemas (globales) como, por ejemplo, la contaminación del medio ambiente.



- ✓ Utilizar didácticamente la historia de la ciencia para contribuir a superar concepciones y comportamientos demasiado simplistas sobre las relaciones CTSA.
- ✓ Introducir cambios en los contenidos conceptuales para disminuir su grado de abstracción y conectarlos a problemas concretos de interés con implicaciones CTSA

A continuación nos detendremos en analizar brevemente las propuestas anteriores.

#### **4.1. Utilización de las nuevas tecnologías en la educación**

Efectivamente, la utilización de las nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza y aprendizaje en general y de las ciencias en particular, está plenamente justificada si tenemos en cuenta que uno de los objetivos básicos de la educación ha de ser la preparación de los estudiantes para ser ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada (o, al menos, que aspire a serlo), así como la capacidad de las nuevas tecnologías para generar unas actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje. No es pues de extrañar que, en las orientaciones curriculares oficialmente aprobadas en nuestro país, se contemple explícitamente su incorporación junto con el resto de contenidos.

##### *Proposed distintas formas de usar las nuevas tecnologías en la educación*

Son bien conocidas las numerosas posibilidades que ofrecen los ordenadores, tanto para profesores, que pueden utilizarlos para elaborar diversos materiales de trabajo (temas, pruebas de evaluación, colecciones de prácticas y de problemas, búsqueda de información, simuladores de experiencias, obtención y tratamiento de datos experimentales, elaboración de esquemas y dibujos, etc.), como para los estudiantes (búsquedas de información, simular y visualizar situaciones, chats y videoconferencias, programas de autoevaluación, etc.). Particularmente interesante es el uso de Applets o programas informáticos sencillos que permiten realizar multitud de aplicaciones, siendo los más útiles aquellos que simulan un determinado proceso o fenómeno (por ejemplo un tiro parabólico, ondas estacionarias, interferencias, valoraciones químicas, etc.) con el que se puede interactuar, incluso de forma cuantitativa, modificando los valores de las magnitudes que intervienen y analizando los resultados obtenidos. Para conseguir una mayor eficacia de su uso es conveniente plantear una serie de preguntas o cuestiones previas a los alumnos de tal forma que para responderlas deban interactuar con el applet. También son muy útiles como ayuda para comprender conceptos abstractos y visualizar fenómenos de representación gráfica laboriosa o complicada. Además, pueden colocar al estudiante en situación de “experimentar” con la naturaleza sin dañarla, así como poner a prueba el funcionamiento de sus ideas previas, comprobando su validez (tratamiento de posibles ideas alternativas). Todo este, sin duda, enorme potencial, nos lleva a plantearnos la siguiente cuestión:

*¿Van a terminar las nuevas tecnologías por hacer innecesario el trabajo del profesor?*

Es preciso llamar la atención contra concepciones simplistas de quienes ven en el uso de las nuevas tecnologías el fundamento de ciertos cambios radicales en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, en los que la función de los enseñantes se ve reducida a la de simple facilitador de procedimientos y recursos, siendo lo más importante el software a utilizar. Con frecuencia, los medios de comunicación se han hecho eco de esta idea y

se habla de “la muerte del profesor” (a manos del ordenador) y de la revolución informática de la enseñanza. Por otra parte, el acceso de la población a las nuevas tecnologías ha propiciado también la idea de que la alfabetización científica y tecnológica de muchos alumnos está con ello ya garantizada (al menos para quienes viven en sociedades avanzadas). Parece como si la facilidad de manejo de aparatos como los teléfonos móviles y los ordenadores, fuera ya, de por sí, suficiente para dicha alfabetización. Incluso ha habido propuestas de compensar toda esa “impregnación ambiental”, disminuyendo la carga lectiva de las materias científicas en la escuela y aumentando las de otras consideradas más “humanísticas”.

La búsqueda de una solución a los problemas de la enseñanza, basada en las nuevas tecnologías, no es, sin embargo, algo nuevo. Así, por ejemplo, Piaget a finales de los años 60, en su obra *Psicología y Pedagogía*, señalaba ya que:

Los espíritus sentimentales o pesarosos se han entristecido de que se pueda sustituir a los maestros por máquinas; sin embargo, estas máquinas nos parece que prestan el gran servicio de demostrar, sin posible réplica, el carácter mecánico de la función del maestro tal y como la concibe la enseñanza tradicional: si esta enseñanza no tiene más ideal que repetir correctamente lo que ha sido correctamente expuesto, está claro que las máquinas pueden cumplir perfectamente dicha función.

En parecidos términos se expresaba también el diario “El País” (13 de octubre de 1997), al comentar críticamente el ambicioso plan del primer ministro británico de aquella época, para dotar de un ordenador personal y de acceso a Internet a todos y cada uno de los escolares, señalando que el ordenador ha de concebirse como un elemento auxiliar en el proceso educativo y que todas esas premoniciones acerca de la desaparición de los profesores en la sociedad futura, sustituidos por ordenadores inteligentes conectados a todas las fuentes de información imaginables, son ensoñaciones irreflexivas de gentes deslumbradas por las enormes posibilidades de la informática (o que hacen algún negocio con ella).

En definitiva, las nuevas tecnologías, cuyo valor hoy nadie pone en duda, no pueden ser consideradas como el fundamento de una revolución educativa que haga innecesarios a los profesores. Tras esa pretensión se esconde la idea, realmente ingenua, de que una renovación efectiva de la enseñanza es cuestión de dar, simplemente, con la receta adecuada (en este caso, la informatización). Sin embargo, la educación es algo más complejo que todo eso y la realidad del fracaso escolar, las actitudes negativas de los alumnos hacia el aprendizaje significativo, la frustración del profesorado, recortes y escasez de medios... acaban imponiéndose sobre el espejismo de fórmulas mágicas.

#### **4.2. Potenciación de la relación entre el centro escolar y el medio**

*Proposed posibles formas de favorecer la interacción entre centro escolar y el medio.*

Algunos autores consideran que dicha interacción se puede favorecer mediante acciones como: El trabajo de estudiantes junto a profesionales como ingenieros o investigadores, los seminarios impartidos por investigadores a los profesores y estudiantes sobre los problemas de todo tipo que genera el desarrollo científico-tecnológico, y la participación de los estudiantes en órganos ciudadanos de gobierno para la toma de decisiones.

Puede pensarse también en la elaboración por los alumnos de “productos” de interés como exposiciones monográficas, carteles, ferias o exposiciones científicas escolares, elaboración de periódicos o noticiarios escolares sobre sucesos importantes con implicaciones CTSA etc., todo ello abierto también al público de fuera de la escuela.

Por otra parte, se pueden preparar y organizar visitas guiadas a empresas de la zona tales como fábricas, plantas potabilizadoras de agua, plantas de reciclado, de tratamiento de residuos, de producción de energía, etc. Particularmente interesantes son las visitas guiadas a centros que tengan que ver con temas concretos estudiados en el currículo, a museos de la ciencia, etc.

El propio centro escolar ha de dar ejemplo de una interacción adecuada con el medio, tomando decisiones tales como usar papel reciclado, disponer de recipientes para recoger pilas, minimizando y tratando adecuadamente los residuos generados en los laboratorios, usando luces de bajo consumo, simulando determinados trabajos prácticos de laboratorio en el ordenador, velando para que todos respeten y cuiden las instalaciones comunes, etc.

#### **4.3. Llevar a cabo acciones y desarrollar comportamientos de respeto al medio**

*Si queremos evitar que la integración de las relaciones CTSA en el currículo se reduzca a lo meramente escrito y potenciar hechos y acciones en los que se fomente el respeto al medio. ¿Qué podemos hacer para lograrlo?*

Al final del subapartado anterior ya se han considerado algunas propuestas concretas que se pueden realizar en el propio centro. Nos limitaremos aquí a desarrollar una de ellas en la que el profesorado de ciencias puede tener un papel fundamental. Se trata de conseguir que los residuos que se generan en las prácticas de laboratorio (particularmente en química) correspondan a sustancias lo menos peligrosas (para las personas y el medio ambiente) posibles, que se produzcan en cantidades mínimas y que se traten adecuadamente.

Una propuesta de gran interés es la realización de **prácticas a microescala**. Se trata de realizar las mismas prácticas que se hacen en los laboratorios escolares pero utilizando cantidades mínimas de aquellas sustancias que produzcan el menor impacto negativo posible sobre el medio natural y sobre las personas. Este tipo de prácticas y la tecnología necesaria para su realización (en muchos casos se trata de tecnología barata y de fácil adquisición o construcción) se viene realizando ya desde hace tiempo en algunos países como Estados Unidos y México. (También en algunas universidades españolas).

*¿Qué ventajas tiene la adaptación a pequeña escala de las prácticas convencionales?*

En primer lugar señalar que, independientemente de utilizar productos en pequeñas cantidades, se hace una selección previa de los mismos, sustituyendo (si es necesario) los más peligrosos por otros que suponen menos riesgos (este es el caso, por ejemplo, de benceno por tolueno).

Entre las ventajas de trabajar con cantidades pequeñas, cabe destacar las siguientes:

- ✓ Reducción del uso de productos químicos y, por tanto, reducción de residuos.

- ✓ Reducción de los costos, tanto en la compra de los productos como en los de recogida y reciclado.
- ✓ Aumento considerable en la seguridad e higiene del laboratorio escolar (mejora en la calidad del aire del laboratorio; menor exposición a productos tóxicos; menor peligro de fuegos y explosiones; menor número de accidentes y de la gravedad de los mismos, por derramamientos, proyecciones, etc.).
- ✓ Reducción de la duración de las experiencias, lo que supone una reducción de los posibles consumos de agua y de energía así como la posibilidad de aumentar el repertorio de experiencias.
- ✓ Menor coste en vidrio roto.
- ✓ Mayor espacio de almacenamiento.
- ✓ Ahorro de tiempo en la preparación de reactivos.
- ✓ Posibilidad de realizar algunas experiencias en la propia aula al facilitarse el transporte del material.
- ✓ Mayor motivación de los estudiantes, que perciben que están trabajando de un modo racional y coherente con lo que se propugna de respeto al medio y lograr la sostenibilidad haciendo una química “verde”, con menos riesgos para el medio ambiente y las propias personas.
- ✓ La microescala también contribuye a la adquisición de una mayor destreza en el diseño de instrumentos y su manejo así como en la manipulación de sustancias.
- ✓ También hace que al ganar tiempo, se pueda dedicar más atención a otros aspectos que los meramente manipulativos, como la emisión de hipótesis y la interpretación y análisis de los resultados.

Naturalmente, los residuos, aunque sean escasos, es necesario tratarlos adecuadamente, neutralizando los que se pueda, recuperando o reciclando otros, etc., evitando comportamientos como tirar productos peligrosos (metales, aceite, etc.) por el fregadero.

La conversión progresiva de las prácticas de laboratorio hacia la microescala es algo que merece la pena ser analizado e incorporado por las administraciones educativas a sus centros y en la formación inicial y permanente de sus profesores, dadas las enormes ventajas que ello comporta. No es extraño, que el tema despierte un interés cada vez mayor, del que se han hecho eco ya algunas revistas como *Educación Química* en México y *Alambique* en España.

#### **4.4. Utilización didáctica de la historia de la ciencia**

La utilización didáctica de la historia de la ciencia puede desempeñar un papel fundamental en la superación de ideas alternativas, tanto en relación a la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico como en lo que se refiere a los propios conceptos científicos (temas 2 y 5 de este proyecto respectivamente), pero también se puede utilizar para mostrar mediante ejemplos concretos, pasados y actuales, las complejas relaciones CTSA y favorecer unas actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje.

*Proponed ejemplos concretos extraídos de la historia de la ciencia que se puedan utilizar didácticamente para mostrar las relaciones CTSA.*

Podemos referirnos, en primer lugar, al **impacto social** que han tenido algunos conocimientos científico-tecnológicos del pasado siglo XIX, pero que suelen estar presentes y

se estudian en muchos currículos de ciencias actuales, como, por ejemplo, la mayoría de los que se refieren a máquinas para utilizar energía, desde la máquina de vapor (que inicialmente fue vista como algo negativo por los obreros que veían amenazados sus puestos de trabajo) y sus aplicaciones en la industria textil, barcos y ferrocarril, a la modesta bombilla (posibilidad de llevar luz a millones de hogares) o los motores de explosión y eléctricos (transporte, electrodomésticos, etc.). Otros conocimientos, como la posibilidad de emitir y recibir ondas electromagnéticas, permitieron la comunicación a grandes distancias de forma prácticamente inmediata y el desarrollo de tecnologías como la radio y la televisión. Tampoco se puede dejar de mencionar otras tecnologías peligrosas para el medio ambiente y para toda la humanidad en general como, por ejemplo, las armas atómicas. En la actualidad el desarrollo científico-tecnológico que se inició hacia mediados del siglo XX ha permitido la creación de aparatos y sistemas de gran impacto en la sociedad, tales como el vídeo, el fax, los aparatos de todo tipo que utilizan luz láser (música, medicina, impresoras, etc.), el ordenador personal, la telefonía móvil, los satélites que orbitan alrededor de la Tierra, etc., así como la fabricación de miles de productos como fibras sintéticas, medicamentos, fertilizantes, plásticos, armas químicas y bacteriológicas, plaguicidas, etc., y la puesta a punto de nuevas técnicas como las de reproducción asistida, los estudios genéticos, la clonación, la anticoncepción, etc.

Los ejemplos anteriores, y otros muchos que se pueden añadir, permiten reflexionar sobre el **impacto social** de conocimientos científico-tecnológicos directamente relacionados con muchos contenidos de ciencias presentes en los currículos de estas materias. No obstante, es preciso hablar además del **impacto medioambiental** que ese desarrollo está produciendo en nuestro planeta y tratar, en el momento oportuno, problemas tales como la superpoblación, el cambio climático, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la contaminación en todas sus formas, la pérdida de biodiversidad, el uso creciente de las distintas fuentes de energía (fósil, hidráulica, alternativas, etc.), así como de las posibles soluciones y acciones positivas (individuales y colectivas) para superarlos, cuestionando las visiones simplistas que existen al respecto y que ya hemos comentado al comienzo del tema, con el fin de poder avanzar hacia la sostenibilidad. Ello implica profundizar en las razones que motivan hacia un crecimiento a todas luces insostenible y comprender su vinculación con la explosión demográfica, el hiperconsumo y los fuertes desequilibrios existentes entre los distintos grupos humanos con la imposición de intereses económicos a corto plazo.

No se pueden olvidar tampoco la **interacción entre el desarrollo científico y determinados valores y creencias** (incluso religiosas). Podemos citar por ejemplo: el impacto de la Teoría Heliocéntrica de Copérnico (sobre cómo era la Tierra y nuestro lugar en el universo), la síntesis de la gravitación universal (que supuso la culminación de un proceso de unificación del mundo terrestre y celeste, durante mucho tiempo considerados como muy distintos, cada uno con su propia materia y sus propias leyes), la teoría de la evolución de Darwin, la síntesis de materia orgánica a partir de materia inorgánica, la teoría de la relatividad y sus implicaciones en filosofía (conceptos de espacio, tiempo, simultaneidad, causalismo, etc.) y actualmente, la clonación, los métodos anticonceptivos, la manipulación genética, las técnicas de reproducción asistida, etc. La mayoría de los contenidos anteriores se hallan presentes en los currículos de ciencias anteriores a la universidad, por lo que es posible incorporar a ellos este tipo de relaciones CTSA.

Algunos de los documentos elaborados para mostrar mediante ejemplos concretos, extraídos de la historia de la ciencia, las relaciones a que acabamos de hacer referencia, se

pueden consultar en el **anexo** incluido al final del tema. El objeto de dichos documentos es suministrar alguna información útil que pueda ser incorporada de forma funcional en las clases, en el momento adecuado. Compete a los profesores tanto en formación como en activo, profundizar y ampliar este tipo de contenidos y su integración funcional en el currículo.

#### **4.5. ¿Cómo presentar unos contenidos conceptuales menos abstractos?**

Anteriormente nos hemos pronunciado sobre la conveniencia de integrar los contenidos CTSA en los contenidos “normales” de cada tema de forma funcional, esto es, sin que supongan un añadido extra o una desviación que haga perder el hilo conductor. Esta idea tiene claras implicaciones en todos los aspectos claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, desde la misma introducción de conceptos a la evaluación. Desde este punto de vista, los enunciados de los problemas de lápiz y papel han de conectar con aspectos CTSA que los hagan más reales y más interesantes para los alumnos.

*A continuación se dan, a título de ejemplo, una serie de enunciados tradicionales de problemas, proceded a cambiarlos de forma que en ellos queden reflejadas las relaciones CTSA y se favorezca el tratamiento funcional de estos aspectos en su resolución.*

Mediante la actividad anterior se suministran una serie de enunciados tradicionales para que se cambien siguiendo las orientaciones que en ella se indican. Con objeto de facilitar la comparación, hemos procedido aquí a reproducir después de cada enunciado tradicional (en letra normal), una posible versión alternativa (negrita), en la que sí se contemplan relaciones CTSA. Naturalmente, aunque en los enunciados se dan todos los datos, como ya comentamos en el tema 4 sobre resolución de problemas, los estudiantes cuando tratan de resolverlos ignoran los datos numéricos al comienzo y proceden como ante situaciones problemáticas abiertas.

**1a.** Una masa de 2 kg se desplaza con una velocidad de 50 m/s en línea recta cuando comienza a actuar sobre ella una fuerza constante de 400 N en sentido contrario al movimiento. Calculad qué distancia recorrerá hasta pararse

**1b.** El conductor de un vehículo que se desplaza a 108 km/h, de repente percibe un obstáculo que bloquea la carretera y para no chocar frena con una fuerza constante de 6000 N. Suponiendo que en el momento de iniciar la frenada el obstáculo se encontraba a 80 m, y que la masa total sea de 1200 kg, determinad si chocará o no.

**1c.** Un avión de 12000 kg de masa en total, en el momento de tomar tierra lleva una velocidad de 260 km/h. Suponiendo que la fuerza máxima de frenado sea constante y valga 50000 N, calculad la longitud mínima que debería tener la pista.

**2a.** Un objeto se lanza desde el suelo con una velocidad inicial de 10 m/s formando un ángulo de 30° con la horizontal. Suponiendo el rozamiento con el aire despreciable, calculad a qué distancia horizontal del punto de lanzamiento caerá y cuánto valdría el alcance máximo que podría conseguirse para esa misma velocidad inicial.

**2b.** Un saltador de longitud inicia el salto con una velocidad de 36 km/h y un ángulo con la horizontal de 30°. Suponiendo el rozamiento con el aire despreciable, determinad la marca conseguida. ¿Qué recomendación le haríais para mejorar su marca al máximo, si es incapaz de correr más rápido? ¿Cuál sería esa marca?

**3a.** Un bloque se lanza hacia arriba por un plano inclinado. Sabiendo que el coeficiente de rozamiento entre el bloque y el plano vale  $\mu = 1'3$  y que el ángulo con la horizontal es de  $56'3^\circ$ , determinad si, una vez que alcance su máxima altura, el bloque volverá o no a bajar deslizándose por el plano.

**3b.** En un almacén hay que instalar una cinta transportadora para llevar cajas (con rapidez constante). Al leer el proyecto comprobáis que en un tramo del recorrido la cinta ha de tener una pendiente de  $56'3^\circ$  y buscando en la bibliografía encontráis que el coeficiente de rozamiento correspondiente al material de las cajas y la cinta vale  $\mu = 1'3$ . ¿Recomendaríais dicho proyecto?

**4a.** Un objeto se lanza con una velocidad de 20 m/s por una superficie horizontal. Sabiendo que el coeficiente de rozamiento entre dicho objeto y la superficie sobre la que desliza vale  $\mu = 0'3$ , calculad la distancia que recorrerá hasta pararse.

**4b.** Un camión de 30 toneladas de masa en total, viaja por una carretera recta a 72 km/h cuando comienza a frenar con una fuerza constante de 240000 N. Se pide:

a) Calculad la distancia que recorrerá hasta pararse.

b) ¿Y si frena de tal forma que se bloquean las ruedas y desliza sobre la carretera? (suponed un coeficiente de rozamiento por deslizamiento de  $\mu = 0'5$ ).

c) ¿Qué ocurriría en los a) y b) si la velocidad inicial hubiera sido el doble?

**5a.** Desde una cierta altura se deja caer un cuerpo, llegando al suelo con una rapidez de 30 m/s. Suponiendo nulo el rozamiento, calculad la altura desde la que se dejó caer.

**5b.** Una persona va en moto a 108 km/h por donde estaba prohibido superar los 60 km/h y choca frontalmente contra un árbol. ¿Desde qué altura debería haber caído para que el choque contra el suelo fuese equivalente al sufrido contra el árbol?

**6a.** Un gas ocupa un volumen de 3 litros a 2'5 atm. Calculad el nuevo valor del volumen cuando, a temperatura constante y sin que entre ni salga más gas en el recipiente, se reduzca la presión a 1'5 atm.

**6b.** Un buceador que se encuentra a 15 m de profundidad, llena un globo con 3 litros del aire de sus botellas y lo suelta, comprobándose que el globo estalla cuando se encuentra a 5 m de la superficie. ¿Qué volumen tenía el globo en ese instante? Datos: Cada 10 m de agua ejercen una presión aproximada de 1 atm y las botellas suministran aire siempre a la misma presión total a la que se halla el buceador.



¿Por qué un buceador que esté respirando aire de su equipo, nunca debe ascender reteniendo aire dentro de sus pulmones?

**7a.** Calculad la potencia mínima necesaria para elevar una masa de 660 kg con una rapidez constante de 3 m/s. ¿Qué energía mínima se habrá utilizado cuando dicha masa haya ascendido 25 m en dichas condiciones?

**7b.** Un ascensor de 500 kg en el que hay dos personas de 80 kg cada una, asciende con una rapidez constante de 3 m/s. Calculad la potencia mínima que desarrolla el motor para ello y la energía mínima empleada al subir 24 m en esas condiciones. Suponiendo que la potencia máxima del motor fuese de 25kW, dad alguna razón por la que no deberían subir más de 4 personas en el ascensor.

**8a.** Calculad la energía mínima necesaria para subir con velocidad constante una masa de 70 kg desde el suelo hasta 24 m de altura.

**8b.** Un alumno de 70 kg, consciente de los graves problemas ocasionados por la creciente utilización de energía y de lo saludable que es realizar ejercicio regularmente, sube siempre andando y con rapidez constante, las escaleras de su casa (que está a 24 m del suelo). Suponiendo que suba una media de 2 veces al día, calculad cuánta energía, como mínimo, supone eso al cabo de un año (365 días).

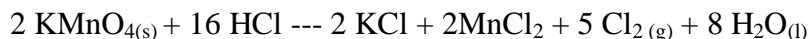
**9a.** Dilatación anómala del agua.

**9b.** La mayoría de los materiales se dilatan al aumentar su temperatura. Sin embargo el agua en las proximidades de 0° C tiene un comportamiento anómalo y lo que hace es contraerse al aumentar la temperatura y dilatarse al disminuir, de modo que el volumen de hielo es siempre mayor que el volumen del agua líquida que lo originó. ¿Qué importancia tiene esta anomalía para la vida en el interior de los lagos? ¿Qué efecto puede tener sobre el relieve?

**10a.** Un objeto cuyo calor específico es de 0'68 cal/g·°C se encuentra a una temperatura inicial de 8 °C. Calcula el calor necesario para elevar su temperatura hasta 22 °C.

**10b.** Calculad el calor necesario para elevar la temperatura del aire de un aula, (10 m x 8 m x 3 m), desde 8 °C hasta 22 °C. Tomad como calor específico "c" del aire 0'22 kcal/g·°C y como densidad media en ese intervalo de temperatura  $d = 1'25 \text{ kg/m}^3$ . ¿Qué importancia tiene en la climatización del aula el tipo de materiales y lo bien o mal que cierren puertas y ventanas?

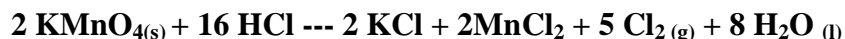
**11a.** En la siguiente reacción, calculad la masa en gramos de permanganato que habrá reaccionado para obtener un volumen de 100 cm<sup>3</sup> de cloro medido a 25 °C y 500 mm de Hg de presión.



Hallad también el volumen de cloro en condiciones normales que puede obtenerse cuando 100 cm<sup>3</sup> de una disolución de permanganato 0'5 M reaccione con exceso de ácido clorhídrico.

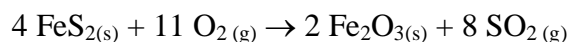
**11b.** El cloro es un gas verde amarillento de olor picante y muy venenoso. Se trata de un elemento muy reactivo que mata rápidamente a las plantas. Hoy en día es un producto necesario que tiene múltiples usos (plásticos, anestésicos, insecticidas, desinfección del agua, blanqueador del papel, etc.). El cloro se puede obtener en el laboratorio haciendo reaccionar permanganato de potasio con ácido clorhídrico. La reacción puede representarse por medio de la siguiente ecuación química:



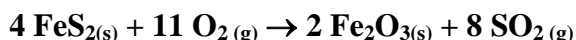


- a) Calculad la masa de permanganato que habrá reaccionado para obtener un volumen de  $100 \text{ cm}^3$  de cloro medido a  $25^\circ\text{C}$  y  $500 \text{ mm}$  de Hg de presión.
- b) Hallad el volumen máximo de cloro en condiciones normales que se podría obtener cuando  $100 \text{ cm}^3$  de una disolución de permanganato  $0,5 \text{ M}$  reaccionen con exceso de ácido clorhídrico.

**12a.** Cierta tipo de carbón contiene un 8% en peso de  $\text{FeS}_2$ . Calculad la masa de  $\text{SO}_2$  (en kg) que se producirá al quemar completamente una tonelada de ese carbón, de acuerdo con la siguiente reacción:



**12b.** Casi todo el carbón de hulla que se quema en Estados Unidos contiene de 1 a 3% de azufre, el cual se halla generalmente formando parte de minerales como las piritas,  $\text{FeS}_2$ . Durante la combustión del carbón, este azufre se convierte en dióxido de azufre según:



Parte del  $\text{SO}_2$  producido reacciona con el oxígeno del aire convirtiéndose en  $\text{SO}_3$  que finalmente se combina con el agua presente en la atmósfera dando lugar a nieblas de ácido sulfúrico, que atacan a los materiales de construcción como el mármol, intervienen en la formación de lluvias ácidas, etc. De esta forma se ha afirmado, por ejemplo, que la Acrópolis de Atenas ha sufrido más daños en los últimos 50 años que durante los 20 siglos precedentes.

Cierta tipo de carbón contiene un 8% en peso de  $\text{FeS}_2$ . Calculad la masa de  $\text{SO}_2$  (en kg) que se producirá al quemar completamente una tonelada de ese carbón.

**13a.** Calculad el volumen de una disolución acuosa de hidróxido de aluminio  $0,8 \text{ M}$ , necesario para neutralizar 3 litros de disolución de  $\text{HCl}$   $0,08 \text{ M}$ .

**13b.** Un enfermo de úlcera de estómago se toma un medicamento a base de hidróxido de aluminio para neutralizar la acidez (debida al ácido clorhídrico presente en los jugos gástricos). La ecuación química que representa dicha neutralización es:



Imagínate que eres su médico y, suponiendo que cada día su estómago reciba 3 litros de jugo gástrico con una concentración de  $\text{HCl}$  de  $0,08 \text{ moles/l}$ , determina cuántos  $\text{cm}^3$  de un medicamento consistente en una disolución de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  de concentración  $0,8 \text{ moles/l}$ , le recetarías para que se tomase cada día.

**14a.** Utilizando los datos que se pueden encontrar en un sistema periódico, decidid para las dos reacciones siguientes:



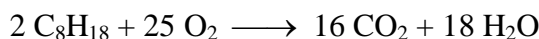
en cuál de ellas se precisará mayor cantidad (en masa) de hidróxido para combinarse con la misma masa de  $\text{CO}_2$ .

**14b. El problema de la eliminación del CO<sub>2</sub> exhalado por los tripulantes de las naves espaciales y estaciones orbitales, puede resolverse mediante su absorción por disoluciones de bases fuertes como NaOH y LiOH según las reacciones:**

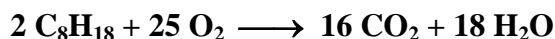


**Dad alguna razón de peso por la que convenga utilizar una u otra disolución.**

**15a.** Calculad la masa de CO<sub>2</sub> que se formará al quemarse totalmente un volumen de 30 litros de octano líquido, cuya densidad es de 0,7 g/cm<sup>3</sup>, de acuerdo con la reacción:



**15b.** El dióxido de carbono es el gas principal responsable del efecto invernadero. La mayor parte de dicho gas se produce debido a la combustión de los hidrocarburos presentes en los combustibles que diariamente utilizan millones de vehículos e industrias. La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos. Uno de los principales componentes de la gasolina es un hidrocarburo que tiene de fórmula C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. La reacción de dicho hidrocarburo con el oxígeno del aire viene expresada por:



**Calculad la masa en kg de dióxido de carbono que se producirá al quemarse completamente 30 litros de C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> líquido, cuya densidad es de 0,7 g/cm<sup>3</sup>. A continuación haz una búsqueda bibliográfica de los datos necesarios, para determinar aproximadamente cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> se vierten a la atmósfera cada vez que todos los coches particulares existentes en España en la actualidad agotan un depósito de combustible.**

Los ejemplos anteriores permiten comprender cómo se pueden integrar de forma funcional, contenidos CTSA en los problemas que suelen formar parte de los currículos de física y química. Análogamente se puede proceder en otros aspectos como los trabajos prácticos (recordemos, por ejemplo, el diseño de productos tecnocientíficos sencillos, tema 3) y en la introducción de conceptos (recordemos cómo la superación de muchas ideas alternativas se podía ver facilitada mediante la utilización de la historia de la ciencia, tema 5). En este tema se ha argumentado también que los contenidos CTSA, tal y como se plantea su utilización, no suponen ninguna desviación del currículo y que además tienen una gran capacidad, no solo para una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico, sino también para favorecer las actitudes positivas de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje, problema abordaremos de forma más específica en el tema siguiente.

Finalmente indicar que, dada la importancia del tema de la sostenibilidad y la necesidad de incorporar estos contenidos a la formación docente, hemos incluido en este libro un capítulo específico (11) para tratar este tema partiendo del estudio de un problema concreto de gran relevancia y actualidad (el cambio climático planetario antropogénico).

## Referencias bibliográficas

- ACEVEDO, J.A., MANASSERO, M, M<sup>a</sup>A y VÁZQUEZ, A.A. (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Conselleria d' Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.
- AIKENHEAD, G.S y DESAUTELS, J. (1989). Monitoring student views on S-T-S topics: the development of multiple-choices items. (Comunicación presentada en el simposium de la NARST en abril de 1989. San Francisco).
- ARNAIZ, F.J y PIKE, R.M. (1999). Microescala en los laboratorios de Química. Una revolución imparables. *Anales de la real Sociedad Española de Química*, 95 (3), 45-51
- BYBEE, R.W. (1991). "Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond?" *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- CARRASCOSA, J., CLIMENT, M.T., DOMÍNGUEZ, M.C y PAYÁ, L (2007). Sostenibilidad y laboratorios escolares. *Educación Química*. 18 (4), pp. 311-322.
- CARRASCOSA, J., GIL-PÉREZ, D., LÓPEZ, ALCANTUD., VILCHES, A y GONZALEZ, E. (2006). La educación para la sostenibilidad en el currículo de Física: *El estudio de la energía como ejemplo privilegiado para abordar la situación del mundo*. Edita: Educación Cubana. La Habana. Cuba.
- DELIBES, M. y DELIBES DE CASTRO, M. (2005). *La Tierra herida. ¿Qué mundo heredarán nuestros hijos?* Barcelona: Destino.
- DUIT, R. (2004) *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education* (Kiel: INP). Accessed at: [www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html](http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html)
- EDWARDS, M., GIL- PÉREZ, D., VILCHES, A. y PRAIA, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), pp. 47-63.
- FURIÓ, C., CARRASCOSA, J., GIL PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2005). ¿Qué problemas plantea la obtención y el consumo de recursos energéticos? En Gil- Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREALC/UNESCO. pp. 219-242.
- GIL PÉREZ D, CARRASCOSA, J y TERRADES, M. F. (1999). El surgimiento de la didáctica específica de las ciencias como campo específico de conocimientos. *Educación y Pedagogía*. XI (25).
- GIL-PÉREZ, D. (1997). *El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas*. Congreso Iberoamericano. Las transformaciones educativas. OEI. Buenos Aires (Argentina).
- GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2005). ¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual? En Gil- Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREALC/UNESCO. pp. 15-28. <http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- GONZÁLEZ, E. y DE ALBA, A. (1994). Hacia unas bases teóricas de la Educación Ambiental. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 66-71.
- HICKS, D y HOLDEN, C. (1995). Exploring the future: A missing dimension in environmental education. *Environmental Education Research*, 1(2), 185-193.
- HODSON, D. (1992). 'In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education', *International Journal Of Science Education*, 14(5), 541-566.
- HODSON, D. (1993). 'Philosophic Stance of Secondary School Science Teachers, Curriculum Experiences, and Children's Understanding of Science: Some Preliminary Findings', *Interchange*, 24(1&2), 41-52.
- IZQUIERDO, M. 1994. ¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?. *Aula*, 27, pp. 37-40.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Facer Escola. Biblioteca didáctica. Galicia: Edicións Xerais de Galicia.

- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., EIREXAS, S.F., Y AGRASO, F.M. (2000). Prensa, Sociedad y Escuela. *Cuadernos de Pedagogía*, 329, pp. 57-60.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., LÓPEZ, R.R., PEREIRO, M, C. (2006). La educación ambiental en el aula: pensamiento crítico y uso de conceptos científicos. *Alambique*, 48, pp. 50-56.
- LYNAS, M. (2004). *Marea alta. Noticia de un mundo que se calienta y cómo nos afectan los cambios climáticos*. Barcelona: RBA Libros S. A.
- McNEILL, J. R. (2003). *Algo nuevo bajo el Sol*. Madrid: Alianza.
- MEMBIELA, I.P. (1997). Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología-sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 51-57.
- MORIN, E. (2001). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Barcelona: Paidós.
- OLIVA, J.M., MATOS, J., BUENO, E., BONAT. M., DOMINGUEZ, J., VÁZQUEZ, A. y ACEVEDO, J.A. (2004). Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las ciencias*, 22 (3), pp. 425-440.
- PENICK, J.E y YAGER, R.E. (1986). Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States. *European Journal of Science Education*, 8 (1), pp.1-9.
- PIAGET, J. (1969). *Psicología y Pedagogía*. (Ariel: Barcelona).
- SACHS, J. (2005). *The End of Poverty*. New York: Penguin Press. (Versión en castellano: *El fin de la pobreza. Cómo conseguirlo en nuestro tiempo*. Barcelona: Debate).
- SANMARTÍ, N., e IZQUIERDO, M. (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Alambique*, 29, pp. 71-83.
- SOLBES J y VILCHES A, 1989. Interacciones C/T/S: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las ciencias*. 22 (3), 335-347
- TILBURY, D. (1995). Environmental education for sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-212.
- VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp. 412-415.
- VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1998). Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante la utilización de computadoras: Determinación de la velocidad del sonido en el aire. *Revista Española de Física*, 12, pp. 33-38.
- VIENNOT, L. (1989). La didáctica en la enseñanza superior ¿para qué?, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 3-13
- VILCHES, A. 1993. *Las interacciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias Físico-Químicas*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València
- VILCHES, A. y GIL, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

## **ANEXO. UTILIZACIÓN DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA**

A continuación, a modo de ejemplo, se exponen de forma aleatoria algunos documentos sobre relaciones CTSA elaborados y utilizados en distintos temas del currículo de ciencias de secundaria y en diversos cursos de formación de profesores. Conviene tener en cuenta que la **inexistencia** de una visión histórica en la enseñanza de las ciencias supone el empobrecimiento de éstas y ello puede ser causa de una falta de interés por ellas. Se puede profundizar y ampliar en cada uno de los anexos que se presentan y también es posible utilizarlos de distintas formas, como aspectos sobre los que buscar información para debatir y argumentar en clase, como contenidos a incorporar en los temas que tengan que ver con ellos, etc.

### **1. La construcción de vehículos cada vez más rápidos a debate**

La rapidez con que las personas podemos realizar cambios en nuestra posición, no es especialmente brillante si la comparamos con la rapidez que pueden desarrollar otros seres vivos. En efecto, parece muy difícil que pueda bajarse de los 9 segundos en una carrera de 100 m lisos. Eso supone una rapidez media del orden de 40 km/h. En este tipo de competiciones conseguir una rapidez máxima de 45 km/h también parece una meta lejana para el ser humano. Sin embargo, sabemos que existen muchos animales, como el perro, la liebre, el caballo, el antílope, etc., que rebasan ampliamente ese valor que parece inalcanzable para nuestra especie. A título de ejemplo, un jaguar en plena carrera supera fácilmente los 100 km/h.

Para compensar la limitación señalada en el párrafo anterior, los seres humanos hemos construido máquinas que nos permiten desplazarnos mucho más rápido de lo que lo podemos hacer por nuestros propios medios. A poco que nos detengamos en revisar la historia, nos daremos cuenta de que el desarrollo de la civilización ha ido paralelo a la construcción de vehículos cada vez más rápidos.

No cabe duda de que la construcción de barcos de remos y de vela, facilitó el transporte de mercancías y personas por una gran parte del mundo de las civilizaciones más antiguas. Posteriormente, ya en el S. XVIII, la invención de la máquina de vapor y del motor de explosión, posibilitaron la construcción de ferrocarriles y de automóviles que a su vez permitieron el movimiento de población y mercancías en grandes cantidades y en tiempos mucho más cortos que los que se podía imaginar. Viajes como la travesía del Océano Atlántico que hasta entonces duraba meses, con el uso de los barcos de vapor se pudo realizar en días. Una atención especial merece el desarrollo de motores para ser empleados en el transporte aéreo. A mediados del siglo XX se adaptó a los aviones comerciales y de pasajeros el motor de propulsión a chorro o a reacción, de forma que hoy en día volar a más de 900 km/h y cruzar el Atlántico en menos de 8 h, se ha convertido en algo rutinario. Están funcionando ya trenes de alta velocidad, capaces de circular a más de 330 km/h. En noviembre de 1997 en Japón un prototipo de tren por levitación magnética superó los 500 km/h y en octubre de ese mismo año mediante un vehículo terrestre impulsado por cohetes, se superaron en el desierto de Nevada (Estados Unidos) los 1220 km/h. Todos estos ejemplos, muestran que el esfuerzo realizado en conseguir vehículos cada vez más rápidos, que nos permitan mayores desplazamientos en menos tiempo, se ha convertido en una carrera (nunca mejor dicho) que parece no tener límite.

*¿Realmente vale la pena seguir tratando de conseguir vehículos cada vez más rápidos?  
¿Qué ventajas tiene? ¿Qué inconvenientes?*

Para centrar la cuestión podemos pensar, por ejemplo, en la industria automovilística. La rapidez máxima que puede alcanzar un coche es algo que suele citarse en la publicidad para inducir a su compra. Pero, ¿no es un contrasentido limitar la rapidez máxima a 120 km/h y construir vehículos capaces de superar fácilmente los 200 km/h?, ¿no influye eso en el número de accidentes de tráfico mortales? Por otra parte, es sabido que un coche a 90 km/h, en igualdad de las restantes condiciones, consume mucho menos combustible que, por ejemplo, a 150 km/h. ¿Cuánto combustible se ahorraría si los millones y millones de coches particulares existentes en todo el mundo se fabricasen de modo que no pudieran superar los 120 km/h? ¿En cuánto se reduciría la contaminación atmosférica y el aumento del efecto invernadero? Ciertamente hay ocasiones en las que llegar unos minutos antes puede ser algo esencial (ambulancias, bomberos, policía, etc.), pero para el resto de los casos ¿es tan esencial llegar antes?, ¿a quien beneficia? Vale la pena reflexionar detenidamente sobre todo ello.

## **2. Problemas relacionados con la producción y consumo de energía**

El consumo de energía por habitante y año es uno de los índices que se manejan para comparar el desarrollo económico de ciertos países. Dos de los países del mundo en donde este consumo es más elevado son Estados Unidos y Canadá, existiendo enormes diferencias entre estos y otros países como India, China, Egipto, etc. De hecho, si los ciudadanos de China e India (más de 2500 millones de habitantes entre ambos a fecha de 2014), consumieran un promedio anual de energía similar al de los norteamericanos, el gasto mundial de energía aumentaría hasta extremos insostenibles. A pesar de ello, es necesario consumir cada vez más recursos energéticos para satisfacer las necesidades de una población mundial **que no deja de crecer** y que aspira, con razón, a disfrutar de un nivel de vida comparable al que disfrutaban los ciudadanos de los países más desarrollados. Este proceso, al parecer imparable, está provocando un agotamiento de los recursos energéticos y a su vez graves daños en el medio ambiente.

Si se prosigue con el ritmo actual de consumo y crecimiento de la población, el petróleo no durará mucho más allá de 50 años, el gas natural un poco más de 60 años y el carbón unos 250 años (tomando como datos las reservas conocidas). La mayor parte de las materias primas citadas son extraídas de puntos lejanos a los lugares de consumo y se han de transportar grandes distancias. La energía se obtiene quemando esas materias o sus derivados. Todo ello está contribuyendo a que se produzcan graves daños al medio ambiente como el aumento del efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación atmosférica en las grandes ciudades, la contaminación marina, etc.

En toda esta contaminación está incidiendo notablemente los accidentes asociados a la producción a gran escala, transporte y almacenaje de materias primas como metales pesados, sustancias radiactivas y petróleo. Dichas actividades se han multiplicado de tal forma que desastres ecológicos como los ocasionados por vertidos de petróleo han dejado de ser accidentes o desgracias esporádicas, para convertirse en verdaderas “catástrofes anunciadas”.

*¿Qué podemos hacer para enfrentarnos a esta situación?*

Una solución, en principio, sería frenar el crecimiento de la población (no olvidar que el mejor método anticonceptivo es el acceso a la educación y la cultura) y encontrar recursos energéticos inagotables y limpios (no contaminantes), como se supone que sería (si se lograra controlar) la energía nuclear de fusión, o como son las energías renovables (solar, eólica, maremotriz, etc.). No obstante, a corto plazo, sería necesario comenzar ya por un estímulo del ahorro energético y por políticas más inteligentes y enfocadas a lograr un desarrollo sostenible, más respetuoso con el medio ambiente (cambio de horario según la estación del año, promocionar el transporte colectivo frente al privado, fabricar coches menos rápidos y que consuman menos, impulsar la investigación en el aprovechamiento de energías alternativas, la construcción de edificios con un buen aislamiento térmico, mejorar la red ferroviaria, potenciar industria de reciclado de materiales, etc.).

*¿Qué efectividad pueden tener los comportamientos individuales, los pequeños cambios en nuestras costumbres, que la educación puede favorecer?*

Las acciones individuales que cada persona pueda llevar a cabo son también muy importantes. Pequeñas cosas como usar la bicicleta y los medios de transporte públicos, tomar una ducha en lugar de un baño caliente (que necesita de mucha más agua), no dejarse grifos abiertos, apagar las luces cuando no se utilicen, utilizar las escaleras en lugar del ascensor, usar electrodomésticos de bajo consumo, etc., pueden tener un gran efecto.



Así, por ejemplo, por cada kWh que se ahorrase en energía eléctrica, aproximadamente se dejaría de quemar 1 kg de carbón en una central térmica (que genere electricidad) y de enviar al aire unos 2 kg de CO<sub>2</sub> y alrededor de 20 g de SO<sub>2</sub>. Eso no es mucho para una familia pero si se multiplica por 300 millones (en el mundo hay más de 7000 millones de habitantes) sí que lo sería.

### **3. La contaminación acústica: un problema social importante**

La degradación del medio ambiente es uno de los grandes problemas actuales que tiene planteados la humanidad. El consumo desorbitado en algunos países así como las grandes concentraciones humanas provocadas por la explosión demográfica incontrolada se apuntan como factores fundamentales de esa degradación que está causando un descenso en la calidad de vida de muchas personas. Un indicador típico de dicho descenso es el aumento incesante del ruido en la mayoría de las grandes ciudades.

El sonido es interpretado como una onda mecánica mediante la que se transmiten vibraciones en un medio material ordinario. Cuando ese sonido produce en las personas una sensación auditiva molesta se le califica de ruido.

La sensación fisiológica que produce un sonido depende además de su intensidad (más o menos sonido) de su frecuencia, que es mayor cuanto más agudo es el mismo. Tanto es así que los sonidos con frecuencias inferiores a los 20 hertzios (Hz) o infrasonidos y los de frecuencias superiores a 16000 Hz (ultrasonidos), sea cual sea su intensidad, no son detectados por las personas. Esta capacidad auditiva varía de unos seres vivos a

otros, el perro, por ejemplo, puede captar sonidos de hasta 50000 Hz y el murciélago de hasta 100000 Hz.

Se ha hecho un esfuerzo por objetivar la sensación sonora introduciendo una magnitud denominada “nivel de intensidad” cuya unidad habitual es el decibelio (dB). Un sonido de 1000 Hz de frecuencia, comienza a percibirse por el oído humano a partir de los 0 dB. En una conversación se pueden producir hasta unos 50 dB, en una zona comercial muy concurrida unos 80 dB, en las cercanías de una máquina taladradora unos 100 dB y un avión a reacción o un trueno muy fuerte entre 110 dB y 120 dB. De acuerdo con los ejemplos anteriores es fácil comprender que para niveles de intensidad sonora iguales o superiores a los 70 dB se pueda afirmar que existe contaminación acústica.

*¿Qué efectos produce la contaminación acústica?*

Entre otros cabe citar: alteraciones en la presión arterial y en el sistema nervioso, trastornos en el sueño impidiendo un descanso adecuado que puede repercutir después en accidentes laborales y de tráfico (pensemos que una sola moto a escape libre, de madrugada y atravesando una ciudad, puede perturbar el sueño de miles de personas) y también, por supuesto, provoca pérdidas de audición (cada vez son más los jóvenes aficionados a escuchar música con un volumen muy alto, que tienen problemas de sordera).

*¿Cuáles son las principales fuentes de este tipo de contaminación?*

En primer lugar hemos de citar al intenso tráfico existente, tanto coches y motos como aviones. En ello influye también la puesta a punto de los vehículos que hace que se den grandes diferencias. Existen, por ejemplo, pequeñas motocicletas a escape libre que emiten un intenso ruido. También la arquitectura de muchas ciudades que no ha sido pensada teniendo este problema en cuenta y se han diseñado calles muy estrechas y edificios con un deficiente aislamiento acústico. Tampoco podemos olvidar el ruido causado por obras, sirenas, bocinas, gritos, industrias, bares, discotecas, terrazas al aire libre, reuniones multitudinarias en zonas de moda dentro de las ciudades, etc.

*¿De quién es la responsabilidad del control del ruido? ¿Cómo solucionar el problema?*

En algunos países como España, el ruido es un problema muy grave. Sin embargo mucha gente todavía no es consciente del mismo y ni siquiera piensa en el ruido como un tipo de contaminación. No cabe duda de que la responsabilidad principal de su control es de las autoridades y de los ayuntamientos. Existen medidas de tipo urbanístico como, por ejemplo: poner aislamientos acústicos en los edificios, aumentar las zonas ajardinadas y peatonales, delimitar áreas de recreo y diversión, etc.; otras administrativas como, por ejemplo: limitar los horarios de cierre y apertura de locales públicos situados en zonas de viviendas, restringir el tráfico ruidoso y, sobre todo, hacer cumplir de forma más efectiva las normas que ya existen sobre el ruido. También es muy importante en este sentido la educación y la colaboración ciudadana. Todos podemos, por ejemplo: bajar el tono de voz, no poner música demasiado alta, no hacer sonar el claxon innecesariamente, etc.



#### 4. Importancia actual de ácidos y bases

*Citad ejemplos de sustancias que habitualmente se consideren como ácidas o como básicas, señalando posibles aplicaciones en aquellos casos en que se conozcan.*

Seguramente habréis pensado en sustancias como los zumos de algunas frutas (limón, naranja, tomate, etc.), el vinagre, el sulfumán, la lejía, la sosa cáustica, etc. Quizás también en algunos compuestos ácidos muy conocidos como el ácido sulfúrico, el nítrico, etc. Por lo que respecta a su utilización, es posible que se os hayan ocurrido cosas como la limpieza doméstica o su uso en la cocina. No obstante, las aplicaciones de ácidos y bases son mucho más extensas de lo que a primera vista pueda parecer. A título de ejemplo comentaremos algunas de ellas:

*En la industria alimentaria.* El medio ácido es un medio desfavorable para el desarrollo de muchos hongos y bacterias, por lo que ciertos ácidos como el cítrico, tartárico, sórbico, etc., se utilizan como aditivos en la conservación de alimentos. Este uso es conocido desde muy antiguo (de ahí las conservas en vinagre), otros usos en este campo son como potenciadores del sabor, espesantes, gelificantes y como antioxidantes (impiden el enranciamiento de las grasas, la modificación de las vitaminas, etc.). En todos estos usos, son denominados con la letra **E** y un número característico. Así el E-330 es el ácido cítrico, que no presenta ningún problema para su consumo. Otros en cambio, han sido prohibidos a causa de su toxicidad (o de potenciar la acción de otras sustancias nocivas), como por ejemplo el ácido bórico, que se utilizaba en la conservación de los mariscos. El zumo de limón se utiliza para la fabricación de queso fresco a partir de la leche (solo hay que añadir un poco del zumo de un limón a la leche caliente contenida en un recipiente y luego filtrar). También en medio ácido (limón, vinagre) se produce la maceración de algunos tipos de carne (steak tártaro) o pescado, (ceviche de pescado, salmón marinado, etc.) que se consumen crudos. En la preparación de pastas, bizcochos, etc., se utilizan a menudo unos polvos que se conocen popularmente como "polvos de gaseosa" y que vienen en sobrecitos de colores. Se trata en realidad de ácido tartárico y de bicarbonato de sodio. Al mezclar estas sustancias con la pasta, se desprende un gas (dióxido de carbono) que origina un levantamiento o esponjamiento de la masa. Las mismas sustancias se utilizan a menudo en la fabricación de refrescos. En el aceite de oliva así como en el llamado pescado azul (atún, sardina, etc.) se encuentran diversos "ácidos grasos insaturados" que ayudan a regular correctamente el nivel de colesterol en las personas que consumen estos alimentos.

Uno de los campos de mayor aplicación de estos compuestos es la *industria de los fertilizantes*, en donde se utilizan grandes cantidades de ácidos como el nítrico, sulfúrico y fosfórico para la obtención de sus sales derivadas (sulfatos, nitratos y fosfatos). También se utilizan junto con compuestos básicos como el amoníaco (fabricación de abonos a base de "nitrato amónico"), etc.

*La industria de la fabricación de explosivos* es otro de los grandes campos en donde se utilizan estos productos. Así por ejemplo los ácidos nítrico y sulfúrico se necesitan para la fabricación de la nitroglicerina, la dinamita, TNT, etc.

*En la industria farmacéutica* aparecen con frecuencia múltiples sustancias ácidas o básicas, como el conocido bicarbonato sódico (básico) o la sencilla aspirina (ácido acetilsalicílico). El ácido ascórbico de la vitamina C. El hidróxido de magnesio de la “leche de magnesia” o el hidróxido de aluminio (empleados en productos para combatir la acidez de estómago), el ácido retinoico como componente en cremas para la piel, etc.

*En la fabricación de productos para la limpieza.* El modesto jabón casero se preparaba de forma tradicional en algunos pueblos utilizando los ácidos grasos (vegetales o animales) tratados con cenizas de plantas (de carácter básico). Los modernos detergentes son en algunos casos derivados de ácidos orgánicos, polifosfatos, etc. Productos de limpieza como la lejía (a base de hipoclorito de sodio) de carácter básico, que se utiliza como blanqueador y desinfectante, el sulfumán (a base de ácido clorhídrico) y multitud de otros productos limpiadores que contienen amoníaco, fosfatos, sosa (hidróxido de sodio), etc., de carácter básico. Así, por ejemplo, los productos para limpieza de los hornos de las cocinas suelen contener sosa cáustica (hidróxido de sodio).

*La industria metalúrgica* utiliza tanto ácidos como bases para realizar baños electrolíticos (por ejemplo platear ciertos objetos) y otros usos como en la obtención de metales (cobre, aluminio,...).

En general, a partir de compuestos ácidos y básicos, se fabrican muchos otros productos que tienen usos muy diversos. Así, además de los casos que ya hemos comentado (nitratos, fosfatos, etc.), podemos citar por ejemplo la utilización del carbonato de sodio, como una sal que se utiliza *en la industria del papel* para extraer la celulosa y también en la *industria azucarera* para hacer que precipiten ciertos ácidos presentes en las melazas azucaradas.

En las *pilas alcalinas* podemos encontrar hidróxido de potasio (base). Las *baterías* de muchos vehículos contienen ácido sulfúrico para su funcionamiento y algunos productos derivados del mismo se usan también en la fabricación de muchas pinturas. De hecho, las aplicaciones de algunos ácidos como el sulfúrico y el nítrico por sí mismos o por sus derivados, son tantas que a menudo se utilizan las cifras de su producción en un país como un índice de su desarrollo industrial.

*En picaduras de insectos.* Cuando las avispas y las abejas nos pican, el líquido que nos inyectan tiene carácter básico en el caso de las primeras y ácido en las segundas. Por ese motivo, algunas sustancias que se emplean para tratar las picaduras de avispas son el vinagre o productos como la “talquistina” (que contiene ácido bórico), mientras que para tratar las picaduras de abejas se suelen utilizar productos que contengan sustancias básicas como el amoníaco o bicarbonato de sodio. El ácido fórmico se halla presente en las hormigas y también en otros organismos como medusas y ortigas.

*El suelo* donde crecen las plantas, también puede tener más o menos acidez o basicidad, dependiendo de su composición. Ello es importante para el crecimiento de ciertas plantas ya que no todos los tipos de plantas requieren el mismo grado de acidez. En general si el suelo es demasiado ácido o alcalino las plantas se desarrollan mal o no se desarrollan. Los suelos demasiado ácidos se pueden tratar con algunos productos básicos como la cal viva (óxido de calcio) o la cal apagada (hidróxido de calcio) o cal (carbonato de calcio). A los que son demasiado básicos se les suele añadir algún producto que con el

agua de lugar a sustancias ácidas. También se utiliza materia orgánica que contenga compuestos orgánicos ácidos como la hojarasca de pino. Existen numerosos productos que para actuar correctamente deben tener un cierto grado de acidez, como champú, pasta de dientes, etc. La pasta de dientes, por ejemplo, debe ser un poco básica para así neutralizar los ácidos que se forman en la boca al actuar las bacterias sobre los restos de alimentos que quedan entre los dientes, previendo así la formación de caries. Con los champús sucede lo contrario: han de ser ligeramente ácidos para que el pelo tenga brillo y sea fuerte, ya que en medio alcalino el pelo se vuelve quebradizo y pierde brillo. Análogamente ocurre con productos de higiene íntima femenina que también han de ser ligeramente ácidos.

## 5. El calor específico del agua y el clima

Cuando un material se calienta, si no cambia de estado, su temperatura aumenta. Sin embargo, no todos los materiales se comportan igual frente al calor. Existen algunos que para conseguir aumentar su temperatura hasta un cierto valor hemos de calentarlos mucho más que a otros (naturalmente en igualdad de restantes condiciones: misma masa, misma temperatura inicial, etc.). Se dice entonces que tienen un elevado calor específico. El agua es uno de estos materiales. Así, por ejemplo, para elevar en 1°C la temperatura de 1 gramo de agua se necesita 1 caloría (4'18 julios) mientras que si se trata de 1 gramo de cobre basta con 0'09 calorías (unas 11 veces menos).

*¿Qué implicaciones tiene el que el agua tenga un calor específico elevado?*

El elevado calor específico del agua hace que ésta tenga algunas aplicaciones importantes como, por ejemplo, refrigerante en el radiador de muchos vehículos, ya que puede calentarse mucho sin elevar demasiado su temperatura. Por otra parte tiene también implicaciones en el clima. En efecto, durante el verano, la enorme cantidad de agua de mar y su elevado calor específico hacen que en los océanos se pueda acumular una cantidad extraordinaria de energía aunque su temperatura se eleve solo unos cuantos grados respecto al invierno. Cuando llega el frío, toda esa energía almacenada en esas grandes masas de agua se va devolviendo poco a poco al medio ambiente (el aire no conduce muy bien el calor), lo que explica la suavidad de los climas de muchas zonas costeras de los países fríos.

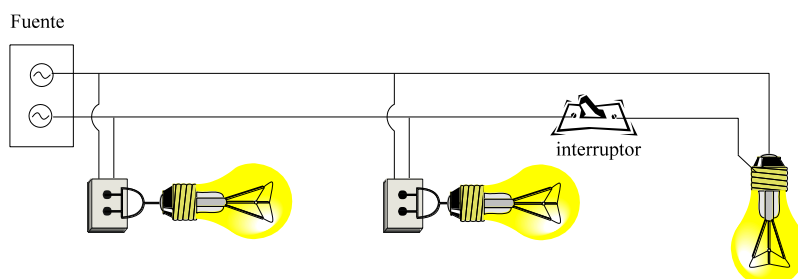
Otro aspecto a tener en cuenta es que, en condiciones de buen aislamiento, un material de pequeño calor específico ante un foco calorífico dado, tardará habitualmente menos tiempo en alcanzar una temperatura determinada que otro de mayor calor específico. Esto hace que la tierra del interior de un país (de menor calor específico que el agua) durante el día aumente su temperatura hasta alcanzar valores más altos que la del agua del mar, mientras que durante la noche se enfría rápidamente a valores más bajos. De este modo se puede explicar el fenómeno de las brisas marinas o vientos que soplan desde la costa hacia el interior durante el día y en sentido inverso durante la noche.

## 6. De la bombilla de incandescencia a las lámparas de muy bajo consumo

Desde los tiempos remotos la humanidad se había ido defendiendo contra la diaria e inquietante desaparición de la luz del Sol primero con hogueras, luego con antorchas y lámparas de aceite y posteriormente con lámparas de grasa de ballena, queroseno, gas, etc. Todos estos sistemas habían proporcionado una luz mediocre y oscilante con la que combatir la oscuridad de la noche. Por otra parte, la introducción generalizada de la iluminación a gas en las fábricas en el siglo XIX no tuvo efectos sociales beneficiosos inmediatos ya que permitió a los patronos alargar unas jornadas de trabajo ya demasiado extensas.

Finalmente, ya a finales del siglo XIX, la electricidad proporcionó un sistema más seguro, mejor y más práctico. El problema era calentar con electricidad un pequeño filamento hasta hacerle emitir un resplandor incandescente. La cuestión en sí no era demasiado complicada, sin embargo muchos intentos fracasaron porque no había medio de evitar que el filamento se oxidara con el oxígeno del aire y se destruyera. En 1875, Crookes, ideó un método adecuado para hacer un vacío suficiente dentro de un recipiente de vidrio en el que se colocaba el filamento, pero los materiales utilizados eran poco satisfactorios ya que se rompían con bastante facilidad. En 1878, Thomas Edison, de 31 años, se manifestó dispuesto a abordar el problema. Su reputación como inventor era tan grande que su anuncio hizo subir la bolsa de Nueva York y Londres haciendo tambalearse las acciones de las compañías de gas encargadas de la iluminación.

Edison no fue, pues, el primero en inventar la luz incandescente usando una bomba de vacío y tampoco descubrió ningún principio científico básico de este sistema. Lo que hizo fue encontrar un material que funcionaba aceptablemente como filamento (hebra de algodón carbonizado) y diseñar un bulbo de vidrio adecuado en el que colocarlo. Además (lo que es aún más importante) solucionó un problema bastante más complejo: abastecer a miles de hogares con una cantidad de electricidad constante. Con ello abrió a una enorme masa de consumidores el uso de la electricidad. Edison se dio cuenta de que el sistema de distribución de la electricidad por los hogares debía de ser de tal forma que las bombillas funcionaran independientemente para que si una de ellas se fundía las demás siguieran funcionando y no se quedase el resto de la casa a oscuras. Para conseguir este efecto las distintas bombillas debían de conectarse como se indica en el esquema siguiente (conexión en paralelo).



Posteriormente se incorporaron sucesivas mejoras (filamento de tungsteno) introducción de gas nitrógeno dentro del bulbo, etc. Edison fundó una compañía de electricidad, la Edison Electric Company, que comenzó a instalar sus sistemas de iluminación en 1882. Tres años después ya habían vendido más de 200.000 lámparas. El amplio uso de las bombillas eléctricas favoreció un desarrollo rápido de sistemas para generar y distribuir

energía eléctrica en millones de hogares iniciándose así la era de la electricidad. Los avances tecnológicos en este campo pronto fueron mucho más allá de la modesta bombilla de incandescencia y se incorporaron a la red eléctrica multitud de aparatos (lavadoras, tostadoras, hornos, secadoras, lavaplatos, frigoríficos, sistemas de calefacción, teléfono, radio, televisión, etc.) haciendo posible una forma muy cómoda de poder disponer de la energía necesaria para realizar muchos y diversos cambios.

Las lámparas de incandescencia son muy poco eficientes ya que solo utilizan para producir luz el 10% de la energía que consumen. Las denominadas bombillas de bajo consumo son mucho más eficientes y duraderas, pero cuando termina su vida útil hay que depositarlas en puntos de recogida adecuados debido a que contienen metales pesados tóxicos como el mercurio. En 2010 había ya a la venta bombillas que funcionan con leds (diodo emisor) que producen luz con una gran eficiencia energética. Su uso generalizado evitará la emisión de muchas toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## 7. La Teoría Heliocéntrica de Copérnico

La Teoría de la Gravitación Universal vino a culminar el desarrollo de la Astronomía iniciado por Copérnico 150 años antes que Newton y se puede considerar como un hecho decisivo en la generalización de las leyes de la mecánica a todo el Universo. Es decir, supuso la extensión de las leyes sobre el movimiento de los cuerpos, elaboradas según nuestras experiencias con objetos terrestres, al movimiento de los astros. Para su elaboración Newton se basó en los trabajos realizados por científicos anteriores y, particularmente, en la Teoría Heliocéntrica de Copérnico.

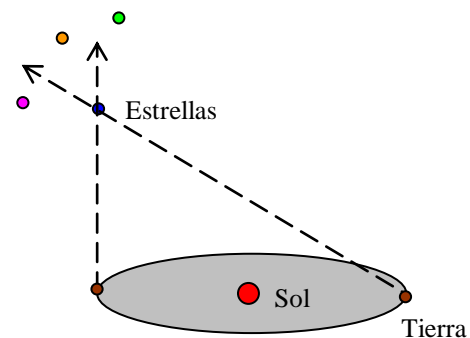
Al analizar el movimiento del Sol y las demás estrellas, la hipótesis más sencilla que se nos ocurre es que la Tierra es el centro inmóvil del Universo y que el Sol, la Luna, los demás planetas y las estrellas, giran a su alrededor a razón de una vuelta cada día. Se trata de un sistema “geocéntrico” que recuerda al que elaboró Aristóteles y que estuvo vigente durante muchos siglos. No obstante, si observamos durante un año la trayectoria seguida por un planeta como, por ejemplo, Marte (que puede verse a simple vista), resulta que su movimiento no parece circular sino bastante más complicado sufriendo a veces cambios de dirección y retrocesos. Además, se puede ver que algunas veces un mismo planeta es más brillante que otras. Todo ello es contradictorio con la cosmología de Aristóteles, según la cual los movimientos de los astros han de ser perfectos (circulares) y su materia inmutable. A lo largo de la historia, los partidarios de la Teoría Geocéntrica del Universo, idearon diversas modificaciones (a veces complicadas) para justificar los inconvenientes que iban surgiendo. Copérnico fue contemporáneo de Colón y a él se debe la formulación de la Teoría Heliocéntrica según la cual la Tierra y el resto de los planetas son los que giran alrededor del Sol con movimientos circulares y uniformes. Sin embargo, aunque algunos astrónomos utilizaron el nuevo sistema por su mayor simplicidad de cálculos, hubo de pasar más de un siglo para que fuese aceptado. Entre otras objeciones, se le hacían las siguientes:

- ✓ Lo que se observa es que el Sol sale por el este y se pone por el oeste. No se nota que la Tierra se mueva. Si fuera así, Josué al conquistar la ciudad de Jericó, tal y como se narra en la Biblia, no habría mandado detenerse al Sol sino a la Tierra.
- ✓ Si la Tierra girase en torno a su eje, dado su gran tamaño, debería hacerlo con gran velocidad (hoy sabemos un punto del ecuador gira a más de 1500 km/h) y eso pro-

vocaría que los pájaros y las nubes se quedaran atrás. Además se pondría incandescente por el rozamiento con la atmósfera.

- ✓ Si la Tierra describiera órbitas circulares alrededor del Sol y no al revés, tendría que hacerlo con una velocidad enorme (en la actualidad sabemos que esa velocidad supera los 100000 km/h) con lo que al dejar caer una piedra desde lo alto de una torre debería de caer mucho más atrás porque mientras fuese por el aire, la torre, sujeta al suelo, avanzaría una gran distancia.
- ✓ Otro de los inconvenientes era que se necesitaría una fuerza colosal para mover un cuerpo tan pesado como la Tierra alrededor del Sol (no se pensaba lo mismo de los astros a los que, recordemos, se les atribuía una materia especial y sin peso).

- ✓ Si la Tierra se moviera alrededor del Sol, habría puntos en su largo recorrido desde los que se vería a una determinada estrella en una posición relativa diferente respecto al fondo de estrellas más alejadas, tal y como se muestra en el esquema adjunto (no a escala). Sin embargo este fenómeno (llamado "paralaje") realmente no se observaba y cualquier estrella parecía estar siempre en la misma posición relativa respecto al fondo de estrellas más lejanas..



- ✓ Se decía también que debía hacer falta una fuerza colosal para mover la Tierra (grande y pesada) alrededor del Sol.

A los argumentos anteriores había que añadir otro muy importante. El sistema de Copérnico suponía rechazar un cuidadoso orden jerárquico en el que todo estaba perfectamente ensamblado. Implicaba además, ir contra las sagradas escrituras y relegar a la humanidad de una posición central, privilegiada, en el centro del Universo, a ocupar uno más de los planetas girando alrededor del Sol. Finalmente, el hecho de que en el sistema de Copérnico, las estrellas se encontrasen a una distancia prácticamente infinita de la Tierra (de otra forma no se podría explicar la aparente ausencia de paralaje), producía una gran inquietud en una sociedad dominada por creencias religiosas, en las que resultaba muy inquietante imaginar el Infierno tan cercano (bajo los pies, en el interior de la Tierra) y el Cielo tan lejano. La iglesia Católica estaba en contra de la Teoría Heliocéntrica de Copérnico y prohibió la publicación y la lectura de sus obras.

*Analizad los argumentos que se daban en contra de la Teoría Heliocéntrica de Copérnico y tratad de explicarlos aplicando los conocimientos de física que habéis aprendido. Realizad un trabajo bibliográfico investigando que papel desempeñó el sistema Heliocéntrico en la elaboración de la Teoría de la Gravitación Universal.*

## 8. El telescopio y las relaciones entre ciencia y tecnología

Muchas veces se distingue entre la Ciencia y la Tecnología. Suele decirse que la primera tiene como objetivo fundamental el conocimiento puro de la materia y sus transformaciones sin plantearse ninguna cuestión respecto a la utilidad práctica de los descubrimientos que se realicen. Por el contrario, la Tecnología sería una simple aplicación

de la Ciencia, dándose el caso de que conocimientos científicos a los que, en principio, no se les atribuía ninguna utilidad concreta, posteriormente han dado lugar a importantes avances tecnológicos. Sin embargo, en realidad las relaciones entre la Ciencia y la Tecnología son mucho más complejas y de hecho una distinción clara entre ambas es prácticamente imposible y, además, carente de sentido.

En primer lugar, conviene tener en cuenta que muchas investigaciones científicas de resultados muy importantes han tenido su origen precisamente en problemas de tipo técnico. Este fue el caso, por ejemplo, de las investigaciones sobre el movimiento de caída de los cuerpos realizadas por Galileo en el siglo XVII, que como él mismo reconoce en sus escritos, estuvieron asociadas al lanzamiento de proyectiles por los artilleros de la época. Por otra parte, la fabricación, en muchos casos artesanal, sin una base científica, de ciertos instrumentos ha determinado también, en ocasiones, espectaculares avances científicos. En efecto: ¿Hubieran sido posibles los progresos en la ciencia del calor sin la invención del termómetro, o en Astronomía sin los telescopios o en el genoma humano sin las computadoras?

Concretamente el caso de la utilización del telescopio en Astronomía es especialmente ilustrativo. En la época de Galileo las viejas doctrinas aristotélicas sobre el Cosmos todavía se enseñaban en las universidades y eran defendidas por la Iglesia debido, entre otras razones, a su coherencia con las sagradas escrituras. Se concebía así a la Tierra situada en reposo en el centro del Universo y a los demás planetas, el Sol y el resto de las estrellas, girando en círculos concéntricos perfectos a su alrededor (sistema geocéntrico). Por otra parte, se creía que los cuerpos celestes tenían forma esférica perfecta y estaban constituidos de una materia especial también perfecta, sin manchas, ni accidentes, incorruptible y eterna. Frente a esta concepción del mundo se encontraba la Teoría Heliocéntrica de Copérnico, según la cual eran la Tierra y el resto de los planetas los que giraban en torno al Sol mientras que las estrellas se encontraban a enormes distancias de la Tierra. Galileo y otros científicos como Kepler eran partidarios de esta Teoría., condenada por la Iglesia.

En 1609 Galileo tenía conocimiento de unas lentes especiales llamadas lentes de perspectiva, construidas por ciertos artesanos de la ciudad de Magdeburgo, que eran capaces de aumentar el tamaño que presentaban a la vista los objetos distantes que se miraban a través de ellas. Galileo se hizo con algunas de estas lentes e investigó sus propiedades, lo que le llevó a mejorar el sistema para ver objetos aumentados de tamaño mediante la construcción de diversos telescopios. Este avance tecnológico permitió realizar a Galileo importantes descubrimientos científicos que apoyaban la Teoría Heliocéntrica de Copérnico. Así por ejemplo, pudo constatar:

- ✓ Que el Sol presentaba manchas oscuras cambiantes en su superficie y la Luna tenía en su superficie montañas y valles como en la Tierra, que indicaban un relieve accidentado. Todo ello estaba bastante alejado de la idea de esferas lisas, perfectas e inmutables que las viejas doctrinas que apoyaban al sistema geocéntrico atribuían a los cuerpos celestes.
- ✓ Que el planeta Júpiter tenía 4 lunas que giraban a su alrededor. Con ello se aumentaba el número de objetos celestes conocidos y se constataba la existencia de un sistema parecido al de Copérnico, con un centro de revolución que, claramente, no estaba en la Tierra sino en Júpiter.

- ✓ Al observar con el telescopio las estrellas, aunque se percibían muchas más que a simple vista, éstas seguían apareciendo como simples puntos luminosos. Esto apoyaba el sistema de Copérnico según el cual las estrellas debían estar inmensamente alejadas de la Tierra.

A pesar de la evidencia experimental proporcionada por el telescopio, la Teoría Heliocéntrica de Copérnico, no fue aceptada fácilmente. Su libro “De Revolutionibus” donde era expuesta fue prohibido por la Iglesia Católica, que también procesó a Galileo y le obligó a retractarse de sus ideas. Así pues, aunque la Teoría Heliocéntrica acabó imponiéndose, el proceso no fue nada fácil. Dicha Teoría se interpretaba por la Iglesia como un atentado a las sagradas escrituras. Además su reconocimiento suponía un cambio tremendo en la concepción del mundo y del ser humano dentro del Universo y para gran parte de las personas de aquella época no era muy confortable pensar en la existencia de un infierno tan cerca (en el interior de la Tierra) y un cielo tan lejos (en estrellas extremadamente alejadas de nosotros).

En resumen, pues, no tiene mucho sentido hablar de la Ciencia y la Tecnología como campos de conocimiento separados. Por el contrario ambas son interdependientes, hablándose ya de avances científico-tecnológicos como un todo. Dichos avances influyen y se ven también influenciados por otros factores como son los intereses económicos, las creencias religiosas, decisiones políticas, etc., de la sociedad en la época en que se producen.

## **9. La síntesis de Newton de la Gravitación Universal**

Durante la edad media Tomás de Aquino unió parte de la filosofía griega con la teología cristiana en una única filosofía que tenía sus raíces en algunos de los trabajos de Aristóteles. Posiblemente, una de las razones para esa unión es que la visión del mundo que tenía Aristóteles se interpretaba como un apoyo a las sagradas escrituras. En cuanto a los aspectos físicos, lo esencial de esa visión se puede resumir en la existencia de una neta línea divisoria entre la Tierra junto con los objetos situados en ella y el mundo de los astros (Luna, Sol, estrellas y planetas conocidos).

Toda la materia terrestre se suponía formada por dos elementos pesados (tierra y agua) y otros dos ligeros (aire y fuego). Cada uno de ellos tenía un lugar natural, el más bajo (centro del planeta) correspondía a la tierra, luego estaba el agua en la superficie, después el aire y finalmente, en lo más alto, el fuego. El estado natural de cualquier elemento era el reposo en su lugar natural, la materia, pues, estaba (como la sociedad) jerarquizada y cada objeto, según la proporción que tuviera de los distintos elementos, tendía, con mayor o menor rapidez, a moverse espontáneamente hacia su lugar natural. Sin embargo, los astros estaban formados por una materia especial (la quinta esencia), transparente, incorruptible y sin peso, su estado natural era un movimiento circular eterno alrededor de la Tierra que se encontraba inmóvil ocupando el centro del Universo. Esta separación entre Cielo y Tierra es un ejemplo de barrera histórica contra una visión unitaria de la materia que forma el Universo, análogamente a la barrera entre persona y animal (derribada por el evolucionismo) o entre materia inorgánica y orgánica. La superación de las mismas presentó serias dificultades debido en gran parte a sus implicaciones religiosas, sociales e ideológicas.



De acuerdo con la física de Aristóteles si la Luna gira alrededor de la Tierra es porque ese es precisamente su estado natural, mientras que si una piedra situada a cierta altura cae hacia el suelo cuando se suelta es porque al contener una elevada proporción del elemento tierra tiene tendencia a moverse hacia la Tierra y quedarse allí en reposo o si el humo se eleva es porque gana elemento fuego y el lugar natural de este último es arriba del todo. En la época de Newton (finales del siglo XVII) la Teoría Heliocéntrica de Copérnico (la Tierra y el resto de los planetas son los que giran en torno al Sol) se enseñaba ya en algunas universidades, Galileo con su telescopio había descubierto montañas y valles en la Luna y también que el planeta Júpiter tenía lunas orbitando a su alrededor (vosotros mismos podéis ver algunas de ellas si enfocáis a Júpiter con unos prismáticos de mediano aumento). Todo ello ya había hecho tambalearse el antiguo sistema, pero fue sin duda la **Teoría de Newton de la Gravitación Universal** la que supuso una síntesis entre dos mundos hasta entonces distintos. La idea básica de esta teoría es que todos los cuerpos del universo se ejercen entre sí fuerzas de atracción. La naturaleza de dichas fuerzas es la misma para los objetos terrestres que para los celestes. La fuerza que hace que un proyectil lanzado desde una torre caiga al suelo, es la misma que mantiene a los planetas girando alrededor del Sol. El propio Newton lo explicaba así:

«El que un planeta pueda ser retenido en sus órbita es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada, a causa del peso se ve forzada a abandonar la trayectoria rectilínea... viéndose obligada a describir una línea curva en el aire, y merced a este camino torcido se ve finalmente llevada al suelo. Y cuanto mayor sea la velocidad con la que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra. Podemos suponer por tanto que la velocidad se incrementa de tal modo que describa un arco de (muchas) millas antes de llegar al suelo, hasta que finalmente, excediendo de los límites de la Tierra, pasará totalmente sin tocarla».

La analogía anterior representa un paso que hasta entonces nadie, ni siquiera el propio Galileo, había dado: no hay ninguna diferencia esencial entre el movimiento de ambos, se trata de la combinación entre el movimiento rectilíneo y uniforme que tendrían si no actuara la fuerza gravitatoria y el movimiento rectilíneo acelerado de caída debido a la atracción gravitatoria, al peso. La diferencia viene determinada únicamente por la velocidad horizontal de ambos movimientos.

## 10. ¿Cómo cambian las teorías científicas?

Algunas personas confunden teoría científica con hipótesis científica, sin embargo no se trata de lo mismo. Una hipótesis es una especie de conjetura que se propone a modo de posible explicación sobre un problema. Una teoría científica es algo mucho más amplio, dentro de ella hay toda una serie de conocimientos entre los que se cuentan hipótesis, leyes, principios, resultados experimentales, etc., de modo que entre toda esa información existe un alto grado de coherencia. Se habla así de la teoría atómico-molecular de la materia, de la teoría de la relatividad, etc. No obstante, a pesar de la coherencia interna que caracteriza a toda teoría científica, la historia de la ciencia muestra cómo, en ocasiones, una teoría cambia y es abandonada. *¿Qué condiciones han de darse para que esto suceda?* Quizás un ejemplo histórico pueda ilustrarnos sobre esto:

La idea de que el calor es una sustancia material está presente en el pensamiento de algunas personas. La misma idea formó parte de una antigua teoría sobre el calor denominada teoría del calórico. En esa teoría el calórico era visto como una sustancia formada por pequeñas partículas que tenían unas propiedades muy especiales como, por ejemplo, ser indestructibles, repelerse entre sí pero ser atraídas, en cambio, por las partículas de materia ordinaria, poder (en ciertos casos) combinarse con las partículas normales para dar lugar a “nuevas sustancias”, etc.

*¿Cómo explicaba la teoría del calórico los fenómenos caloríficos que se conocían?*

- a)** Para justificar el paso de calor de los objetos calientes a los fríos se argumentaba que los primeros tienen más proporción de partículas de calórico que los segundos y como éstas se repelen mutuamente, pasarían al objeto más frío donde habría menos.
- b)** La dilatación de un cuerpo al calentarlo se explicaba diciendo que las partículas de calórico suministradas rodearían a las partículas ordinarias y la repulsión existente entre las de calórico haría que el cuerpo se dilatará.
- c)** Un cambio de estado como el paso de hielo a agua líquida cuando este se calienta y funde, se interpretaba como una combinación química entre el calórico suministrado y las partículas de hielo que daría lugar a una “nueva sustancia” (el agua líquida).
- d)** En cuanto a la producción de calor por golpes o frotamiento, esta se explicaba admitiendo que los golpes o el rozamiento extraían las partículas de calórico existentes en el cuerpo, separándolas de las de materia ordinaria.

Los razonamientos anteriores daban explicaciones satisfactorias y coherentes a los fenómenos caloríficos conocidos, por eso no es sorprendente que la teoría del calórico gozase de una amplia aceptación. No obstante, a finales del siglo dieciocho comenzaron a plantearse algunas dudas acerca de la naturaleza del calor. Particularmente importantes fueron las experiencias del norteamericano Benjamin Thomson, mediante las que comprobó que cuando un objeto se calentaba o se enfriaba, no se producía ninguna variación en su masa. Este resultado no parecía compatible con la idea del calor como una sustancia material. Otro golpe, todavía más grave, que recibió la teoría del calórico fue la constatación de la inmensa cantidad de calor que se puede generar cuando se frota o golpea un objeto dado. Si el calor fuera una sustancia material, cabría esperar que al ir extrayéndolo fuese agotándose hasta desaparecer. Sin embargo, lo que ocurre es que, por mucho que frotamos un objeto, el calor sigue produciéndose de forma que parece inagotable. El propio Thomson resaltó este hecho al observar unas operaciones en las que se procedía a taladrar unos cañones:

“Estando encargado del taladro de cañones en una fábrica de material militar ... quedé sorprendido por el grado considerable de calor que se genera en un tiempo muy pequeño cuando una pieza de latón es perforada, y por el calor, todavía más intenso (mucho más que el del agua hirviendo), de las virutas metálicas que se desprendían de la perforación. Cuanto más meditaba sobre este fenómeno, más evidente se me hacía su interés para arrojar alguna luz sobre la verdadera naturaleza del calor, una cuestión sobre la que durante estos últimos tiempos han estado muy divididas las opiniones”.

A pesar de las abrumadoras evidencias en contra, la teoría del calórico se mantuvo vigente durante mucho tiempo. Para poder mantenerla se admitía que el calórico podría ser en realidad una sustancia extraordinariamente ligera o, incluso, sin peso, además de invisible y prácticamente inagotable. Ello es una buena prueba de que no bastan unos

cuantos resultados experimentales en contra para que se cambie toda una teoría científica. Por otra parte, las experiencias de Thomson también son muy clarificadoras respecto al papel de la observación en la investigación científica. En efecto, el hecho de que por frotamiento se genera calor era algo que mucha gente ya había observado reiteradamente con anterioridad, pero fue necesario que se planteara un problema (en este caso la naturaleza material o no del calor) para que la observación resultase significativa.

A mediados del siglo XIX, dos científicos, el inglés Joule y el alemán Meyer, trabajando independientemente, establecieron las bases de la visión actual sobre la naturaleza del calor, según la cual éste se concibe como un proceso mediante el que la energía de un sistema cambia. Con ello se establecía una estrecha relación entre dos campos científicos que hasta entonces se consideraban muy distintos: los cambios mecánicos y los fenómenos caloríficos. Tanto el calor como el trabajo mecánico, son dos formas de transferir energía de unos sistemas a otros.

## 11. El abandono de la teoría vitalista

Muchas sustancias que provienen del mundo inanimado o inorgánico, como el agua o los metales, pueden calentarse e temperaturas relativamente altas sin alterarse y también sufrir cambios de estado de forma reversible, así, el agua puede calentarse y pasar de sólido a líquido y de líquido a vapor y luego sufrir el proceso inverso al enfriarse.

*¿Ocurre lo mismo con otras sustancias como el azúcar, la miel o el aceite de oliva?*

Utilizando las sustancias anteriores, podemos darnos cuenta de que no suceden ninguna de las dos cosas, el azúcar, por ejemplo, no sufre cambios de estado reversibles y si se calienta demasiado acaba transformándose en otra sustancia diferente: carbón. Algo similar ocurre con la miel y con el aceite. En general, sabemos por experiencia que cuando se quema un alimento cualquiera (por ejemplo, pan en la tostadora) se carboniza. Así pues, las sustancias orgánicas (procedentes de seres vivos), pueden transformarse fácilmente en inorgánicas.

Las propiedades específicas de algunas sustancias orgánicas son conocidas desde la antigüedad. A título de ejemplo, podemos mencionar el jugo de uva fermentado (alcohol), el ácido acético presente en el vino agriado, la sacarosa, algunos colorantes como el índigo, etc. Durante el siglo XVIII se aislaron también otras como el alcohol de madera (metílico), la glucosa, la lactosa, la urea presente en la orina de los animales, el ácido úrico, etc. Sin embargo, estas sustancias siempre se habían obtenido en el laboratorio a partir muestras procedentes de seres vivos y nunca a partir de sustancias inorgánicas. Por otra parte, los compuestos orgánicos parecían ser más complejos que los inorgánicos. No es extraño que esta situación, junto a la existencia de algunas creencias religiosas, llevase a admitir a los químicos de la época que se necesitaba de una "fuerza vital" para convertir las sustancias inorgánicas en orgánicas. Solo los animales y las plantas parecían disponer de esa fuerza vital que de ningún modo se hallaba presente en los tubos de ensayo y demás instrumentos de un laboratorio por sofisticados que fuesen. Esta idea formó parte de una teoría llamada vitalismo. De acuerdo con dicha teoría existía una **barrera infranqueable** entre las sustancias de origen mineral (inorgánicas) y las procedentes de animales o plantas, por lo que cualquier intento de sintetizar en el laboratorio sustancias orgánicas a partir de otras inorgánicas estaba, condenado al fracaso.

so. Conviene notar que esta teoría implicaba la imposibilidad de que a partir de la materia inanimada pudiera alguna vez haber surgido la vida de forma natural.

El vitalismo comenzó a tambalearse ya entrado el siglo XIX cuando en 1828 el químico alemán Wöhler sintetizó la urea a partir del calentamiento de un compuesto inorgánico. No por ello, sin embargo, se abandonó inmediatamente la teoría vitalista que persistió de una forma u otra durante unos 20 años más. Durante los años posteriores a la síntesis de la urea, se produjeron pronto nuevas síntesis de compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas. Como, por ejemplo, la realizada por Kolbe (alumno de Wöhler) con el ácido acético solo a partir de los elementos constituyentes (carbono, hidrógeno y oxígeno) o las que sintetizó el químico francés Berthelot (alcohol metílico, alcohol etílico, metano, benceno, acetileno, etc.). Todo ello contribuyó decisivamente a que se abandonara la teoría vitalista por los científicos a la vez que comenzaba el desarrollo imparable de la química orgánica o mejor: de la química de los compuestos de carbono.

## 12. De la teoría del flogisto a la ley de la conservación de la masa

La conservación de la masa en los cambios químicos es una consecuencia necesaria de la estructura atómica y molecular de la materia. No obstante, se trata de un principio al que, históricamente, no fue fácil llegar. En el siglo XVIII se admitía todavía la existencia de sustancias sin peso o, incluso, con peso negativo. Una muy importante era el **flogisto**. Se trataba de una sustancia muy curiosa, a veces se la asociaba con el fuego, no se la podía ver, unas veces no tenía peso y otras tenía peso negativo. Para los químicos, la intervención del flogisto era esencial para explicar algunos cambios. En efecto, en aquella época a un “metal oxidado” se le llamaba **CAL**. Al calentar una CAL se puede producir un cambio químico y obtenerse un “metal puro”. Así, por ejemplo, si calentamos una cal de hierro (lo que hoy llamamos óxido de hierro) podemos obtener hierro. Este cambio se explicaba entonces diciendo que al calentar la CAL el flogisto que salía del foco calorífico entraba en ella y la convertía en metal puro. *¿Cómo explicaban entonces que el metal puro pesara menos que la cal?* Admitían que el flogisto tenía peso negativo (ligereza).

Antoine Lavoisier fue un científico francés que vivió durante el siglo XVIII. Estaba formado en varias ciencias y, con la colaboración de su esposa, realizó importantes trabajos en química. Desde el principio se opuso a la teoría del flogisto y otras ideas químicas tradicionales. De hecho, fue una persona que aprovechó muchos de los resultados experimentales obtenidos por otros químicos aunque, eso sí, dándoles una nueva interpretación. Así, por ejemplo, para Lavoisier, la pretendida absorción de flogisto al calentar una CAL de un metal, correspondía en realidad a una pérdida de oxígeno, lo cual explicaba que el metal “puro” pesara menos que la CAL (óxido metálico) de la cual provenía.

Sus trabajos fueron decisivos en la superación de la teoría del flogisto. Sus conclusiones se extendieron a cualquier tipo de cambio químico afirmando que **en todo sistema cerrado, aunque cambie la masa de algunos componentes, la masa total se debe conservar.** Se le atribuye la publicación del primero de los libros de texto de química modernos. Es curioso que, a pesar de sus ideas revolucionarias en química, fuese finalmente guillotinado (1794) durante la revolución francesa acusado de conservadurismo político. Años después, su mujer se casó con el también científico Benjamín Thomson.

## **7. LAS ACTITUDES HACIA LA CIENCIA Y SU APRENDIZAJE**

El desarrollo exponencial de las ciencias que ha tenido lugar principalmente en los últimos tres siglos ha sido, sin duda, una de las causas fundamentales de muchos de los profundos cambios que la humanidad ha experimentado desde entonces, pudiendo afirmarse que las ciencias durante esos pocos siglos han afectado a la vida y al pensamiento de las personas mucho más que la historia de los miles de años precedentes.

Los ciudadanos del siglo XXI vivimos en una sociedad impregnada de un acelerado desarrollo científico-tecnológico, en la que se han conseguido logros importantes, pero en donde existen también problemas muy graves derivados de ese mismo desarrollo.

Todo ello ha hecho que la preocupación por adecuar la enseñanza de las ciencias a las necesidades de un presente y un futuro llenos de cambios sea hoy en día algo general, como muestra, entre otras cosas, la presencia de las ciencias en la mayor parte de los programas de enseñanza básica y media de los distintos países, así como la gran diversidad de estudios universitarios que pueden realizarse en este campo.

Sin embargo, es un hecho repetidamente denunciado que el interés de los estudiantes por las ciencias, disminuye notablemente a lo largo del periodo de escolarización. La gravedad del problema es tal, que el estudio de las **actitudes** de los alumnos hacia las ciencias es una importante línea de investigación didáctica, dado que existe una estrecha correlación entre actitudes y aprendizaje. Así, los estudiantes que mantienen actitudes favorables hacia la ciencia, desarrollan una mayor apreciación y comprensión de la misma y en consecuencia obtienen en general, mejores resultados. El problema es que, desgraciadamente, la actitud inicial hacia la ciencia y su aprendizaje, en general muy positiva al comienzo, va evolucionando en muchos casos, conforme avanzamos en el nivel educativo, de manera que se va deteriorando, pudiendo llegar incluso a un fuerte rechazo de las materias científicas. Esto explica que se haya producido una abundante investigación acerca de cuáles son las causas fundamentales de este problema y de sus posibles soluciones, señalando la necesidad de favorecer un cambio axiológico en el que se invierta la tendencia y se produzca una mejora de las actitudes iniciales de los estudiantes.

### **¿Sobre que problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

- ¿Con qué aspectos concretos del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias cabe relacionar el tema de las actitudes?
- ¿Cuáles son las causas del deterioro de la actitud positiva hacia la ciencia que tiene lugar a lo largo del periodo de escolarización?
- ¿Cómo incidir favorablemente en el desarrollo de actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje?
- ¿Qué influencia pueden tener el funcionamiento del aula y del propio centro escolar en las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje?

## 1. CONSTATACIÓN DE UN FRACASO

Desde hace tiempo, sabemos que no es posible una mejora sustancial en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias si éste no se extiende a otros contenidos además de los conceptuales y metodológicos, incluyendo otros aspectos como son las relaciones CTSA y las actitudes de los alumnos, así como el desarrollo y la aplicación de instrumentos adecuados para evaluar los progresos en cada uno de ellos.

En el tema anterior, estudiamos los contenidos CTSA. Allí señalábamos que la integración de este tipo de contenidos en el currículo no solo es positiva porque contribuye a desarrollar una imagen de la ciencia y del trabajo científico más próxima a la realidad (con todo lo que ello implica) sino también, y sobre todo, porque influye de forma determinante en el aprendizaje, contribuyendo a dar más sentido a los estudios realizados y **favoreciendo, en particular**, el interés de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje y, consecuentemente, una mejor preparación científica. En este tema abordaremos, pues, el estudio de las actitudes de los alumnos.

Las actitudes se relacionan estrechamente con otros factores como el interés, motivación, creencias, valores y características personales. Cuando se trata de aprender conocimientos científicos conviene potenciar actitudes de curiosidad e interés por la ciencia y todo lo relativo a las relaciones CTSA, fomentando la flexibilidad intelectual, el trabajo en equipo y la argumentación en la discusión de ideas.

Existe una correlación positiva entre la motivación de los estudiantes y su grado de aprendizaje. Los datos recogidos muestran cómo las actitudes favorables hacia una materia científica constituyen un buen índice de un correcto aprendizaje en dicha materia. Los estudiantes con actitudes positivas hacia la ciencia desarrollan, en general, una más amplia y profunda comprensión y, consecuentemente, obtienen mejores resultados académicos. No obstante, como ya hemos dicho, los resultados de diversas investigaciones también muestran que conforme avanzamos de nivel educativo, las actitudes hacia la ciencia y la motivación para aprender estas materias, se van deteriorando. Conviene que nos preguntemos el porqué.

*Enumerad, a título de hipótesis, cuáles pueden ser las causas fundamentales del deterioro de las actitudes positivas o favorables de muchos alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje, que se suele producir a los largo de su vida escolar.*

Las explicaciones más comunes suelen hacer referencia principalmente a la falta de capacidad de estos alumnos, motivada sobre todo, por la creciente dificultad intrínseca que se suele atribuir especialmente a los estudios de algunas materias científicas como la física o la química, así como a posibles influencias sociales y familiares. También se suelen citar otros factores como, el exceso de estímulos externos (televisión, videoconsolas, redes sociales, juegos a través de Internet...) o las escasas perspectivas laborales.

Se trata no obstante, de una visión muy limitada y superficial, detrás de la cual subyacen a menudo concepciones claramente deterministas que, aunque han sido justamente criticadas, se hallan aun muy extendidas. Según estas, existen personas normales que aunque quieran, no pueden aprender ciencias, ya que son desde un principio incapaces para ello. Es decir, la mayor o menor facilidad para la ciencia sería, desde este punto de vista, una especie de cualidad innata que no todo el mundo posee. Junto a este determinismo biológi-

co, suele encontrarse también un determinismo social, según el cual no es posible superar la influencia negativa que en el aprendizaje del alumno, puede ejercer un entorno social y familiar poco o nada favorable.

Vale la pena, pues, que hagamos un análisis más profundo acerca de las causas del progresivo deterioro en las actitudes favorables de los alumnos hacia las ciencias y su aprendizaje. En este sentido, cabe señalar que los resultados de las investigaciones realizadas muestran que el problema viene determinado por un gran número de variables interrelacionadas. Obviamente no se trata de hacer en este tema un estudio detallado de cada una de ellas pero sí de comentar algunas de las más relevantes, como:

- ✓ La ausencia de contenidos CTSA integrados en el currículo, lo que implica, como ya hemos visto en el tema anterior, una escasa utilización de las nuevas tecnologías, la no potenciación de las relaciones entre el centro escolar y el medio, no utilizar la historia de la ciencia, etc.
- ✓ Unas prácticas de laboratorio, cerradas, tipo receta y unos problemas planteados como ejercicios de aplicación, donde no se contemplen las orientaciones que hemos intentado fundamentar en los temas correspondientes de este proyecto.
- ✓ Profesores poco motivados, con metodologías y comportamientos en clase poco adecuados para favorecer unas actitudes más positivas.
- ✓ Mal funcionamiento del centro escolar, de las clases y de la evaluación.
- ✓ Falta de vinculación de los estudios con metas de interés colectivo capaces de motivar al alumnado (como puede ser la necesaria transición a la sostenibilidad).

Mediante la actividad anterior, hemos intentado mostrar algunas de las principales variables que, según las investigaciones realizadas, más influyen en las actitudes del alumnado hacia la ciencia y su aprendizaje. Antes de proseguir conviene hacer, no obstante, algunas puntualizaciones:

El hecho de que no vayamos a tratar en este tema factores externos como el medio social y familiar, no significa que pensemos que estos no influyen. Se trata únicamente de evitarlos como exculpación y de centrarnos fundamentalmente en otros sobre los que el profesorado tiene mayores posibilidades de incidir mediante su trabajo.

Análogamente no vamos a considerar aquí, otros aspectos que tienen una importancia decisiva en el tema de las actitudes pero que ya han sido tratados anteriormente con detalle, como la imagen de la ciencia, la forma como se introducen los conceptos, el planteamiento de problemas, la realización de las prácticas de laboratorio, incorporación de las nuevas tecnologías, las propias relaciones CTSA en general, o la utilización didáctica de la historia de las ciencias... ni tampoco otros que se tratarán posteriormente de forma específica (como la evaluación).

Por otra parte, ni el tipo de enseñanza, ni tampoco las concepciones espontáneas del profesor acerca de la ciencia y su aprendizaje, clima de trabajo existente en el aula, características del centro, medio social y familiar en que se desarrolla el alumno, el concepto que tenga de sí mismo, etc., pueden considerarse en modo alguno como compartimentos estancos. Por el contrario, están continuamente interaccionando e influyéndose en mayor o menor medida, siendo precisamente este hecho el que nos permite suponer que, por ejemplo, mediante una selección determinada de los contenidos a enseñar y una metodología adecuada para enseñarlos, un buen clima de aula y de centro, etc., es posible que, aun a pesar de

otros factores desfavorables, se puedan desarrollar actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje.

Partimos de la base de que las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje son cualidades aprendidas y por lo tanto, a pesar de que puedan tener una considerable estabilidad, también son susceptibles de ser modificadas.

El problema de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje remite a los análisis críticos de la enseñanza de las ciencias que se han realizado en los temas anteriores pero, como es lógico, no se trata solo de buscar explicaciones a dichas actitudes sino de plantearse también qué hacer para cambiarlas o, mejor, para evitar que se produzcan.

## 2. ¿QUÉ OTROS FACTORES INFLUYEN EN LAS ACTITUDES?

Las actitudes negativas hacia el aprendizaje de las ciencias impregnan a todos los aspectos que se consideran claves para dicho aprendizaje, desde la introducción de conceptos, los trabajos prácticos y la resolución de problemas a otros como el trabajo del profesor, el funcionamiento del centro y del aula o la autoestima del estudiante. También depende de la imagen popular que tenga la materia de estudio, así diversas investigaciones han mostrado la existencia de una actitud más favorable hacia la biología (vista por la población en general como una ciencia más dedicada a la conservación de la naturaleza) que a otras como la química (vista también por la mayoría de la población como responsable de la contaminación y de lo “artificial” como contrapunto de lo “natural” ) o la física (vista como más difícil de aprender).

*Revisad los contenidos de los temas anteriores y derivar propuestas concretas sobre los contenidos a tratar, la forma de orientar los trabajos prácticos y la resolución de problemas, el manejo de información por los alumnos, la metodología de trabajo en clase, contactos con el exterior, elaboración de productos por los alumnos, expectativas y actitud del profesor, etc., que sean susceptibles de generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias.*

La realización de esta actividad supone revisar todo lo que se ha ido elaborando a lo largo de los temas anteriores que pueda estar directamente relacionado con las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias. Hay que centrarse en buscar todas las causas citadas anteriormente respecto al deterioro de las actitudes positivas hacia la ciencia y "darles la vuelta", es decir, se trata de hacer justo lo contrario a lo que allí se indicó. No obstante, conviene ahora hacer un esfuerzo por detallar y profundizar más.

Realizada la actividad anterior y una vez que se han discutido y elaborado las propuestas concretas que se demanda, puede pasarse a cumplimentar el cuestionario incluido al final (anexo 1) y a comparar (después), los resultados obtenidos con las propuestas realizadas de forma personal, analizando su posible coherencia. También es posible utilizar (en cursos de formación didáctica) dicho cuestionario para familiarizar a los asistentes con la investigación didáctica proponiendo, por ejemplo, pasarlo a profesorado y alumnado de ciencias y comparar los resultados de la valoración de ambos colectivos.

La actividad (incluido el anexo1), permite de esta forma disponer de una valiosa información no solo sobre todos aquellos aspectos que se consideran más importantes para generar actitudes positivas sino también sobre su grado de incidencia real en el aula.



Sin embargo, como ya hemos indicado, nos vamos a centrar aquí solo en los aspectos que no hayan sido ya tratados en temas anteriores y que tampoco vayan a serlo posteriormente. De acuerdo con ello, analizaremos a continuación, la influencia que pueden tener en las actitudes de los alumnos nuevas variables como: las características y el comportamiento del profesor, el clima del aula y del centro, y la autoestima del alumno.

### **2.1. Características y comportamiento del profesor**

Las características personales y el comportamiento del profesor en clase influyen en el clima de trabajo y afectivo que se desarrolle en el aula, factores que como veremos tienen una gran importancia en el tema de las actitudes.

*En el siglo pasado, durante los años 80, algunos estudios mostraban que la actitud negativa hacia las ciencias era, en general, más marcada en las alumnas que en los alumnos, aumentando esta diferencia con la edad. Dad alguna interpretación fundamentada que justifique este hecho.*

Algunos autores interpretan estas diferencias en función de los diferentes roles, estereotipos y expectativas que la sociedad genera según el sexo y de ello, a pesar de que muchos puedan pensar lo contrario, no nos libramos tampoco los mismos profesores. Así por ejemplo en un cuidadoso estudio experimental realizado en Gran Bretaña en los años 80, se proponía la corrección de un cierto número de ejercicios a 306 profesores y profesoras de Enseñanza Secundaria, con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos (nivel, precisión científica, aptitud para la ciencia, ...). Cada ejercicio fue presentado al 50 % del profesorado corrector como realizado por un alumno y al otro 50 % como obra de una alumna. Los resultados mostraron claramente que los mismos ejercicios eran calificados más altos cuando eran atribuidos a chicos y que se valoraba más positivamente la capacidad de los varones para proseguir estudios científicos. Resultados como los anteriores llevan a plantearse hasta qué punto la escuela no tiene una parte de responsabilidad en el mantenimiento de este tipo de diferencias entre los alumnos y las alumnas. No obstante, aunque la imagen masculina de la ciencia, sigue existiendo, algunas investigaciones más recientes realizadas en nuestro contexto, parecen indicar, afortunadamente, un progresivo retroceso en cuanto a la presencia de estas diferencias.

*Diseño y realización de alguna investigación para analizar en qué medida la situación descrita al comienzo del párrafo anterior ha cambiado en nuestro país.*

Hemos de resaltar también la influencia de las expectativas del profesor, haciendo referencia al conocido efecto “Pigmalión”. Se trata de experiencias, ya clásicas en la literatura pedagógica, llevadas a cabo escogiendo alumnos al azar y convenciendo a sus profesores de que dichos alumnos estaban especialmente dotados para una materia determinada, comprobándose posteriormente cómo dichos alumnos realizaron progresos en la misma, significativamente superiores a los de sus restantes compañeros.

Para terminar, señalar que las diferentes expectativas del profesor respecto a sus alumnos, le llevan a dirigirse casi siempre a quienes sabe que le van a contestar mejor (ignorando, consecuentemente, a otros alumnos). Dicha diferencia de expectativas se puede manifestar, incluso, en la misma corrección de exámenes donde, con frecuencia (como veremos en el tema sobre evaluación), se puede constatar una predisposición general a ser más tolerante con los fallos cometidos por los alumnos considerados mejores, etc.

## 7. Actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje \_\_\_\_\_

*Indicad otras características personales y de comportamiento del profesor que, en vuestra opinión, puedan tener un papel importante en las actitudes de los alumnos.*

Existe un gran acuerdo en admitir que el interés que el profesor demuestre por su materia y por la enseñanza es un aspecto que tiene una enorme influencia en las actitudes positivas de los alumnos. No obstante, tan importante o más que este, es el interés que muestre hacia sus propios alumnos. Desgraciadamente, solo un pequeño porcentaje de estudiantes encuentra que los profesores de ciencias se interesan real y personalmente por ellos con cierta frecuencia, a pesar de que este tipo de comportamiento afectivo es valorado como muy importante por la práctica totalidad del alumnado.

Interesarse personalmente por los alumnos supone entre otras cosas, la creación de un clima sereno y distendido de trabajo, de confianza y de respeto mutuo así como un seguimiento constante por parte del profesor con el propósito explícito de favorecer el éxito de sus alumnos, prestando atención a sus progresos, alabando y valorando positivamente lo que hagan bien, facilitando su participación en la evaluación del funcionamiento de la clase (incluida la actividad del propio profesor), mostrándose receptivo a sus problemas, etc. Todo ello se encuentra en las antípodas de dejarse llevar por los nervios, ridiculizar poniendo en evidencia a alguien delante de los demás (o permitiendo que lo hagan otros), ignorar a determinados alumnos, etc. En definitiva, como ya indicaban Yager y Penick a mediados de los años 80:

"Si verdaderamente queremos influenciar e impulsar el aprendizaje de la Ciencia, los profesores debemos situar a los estudiantes al frente de nuestro pensamiento y considerar lo afectivo al menos al mismo nivel que el dominio de lo cognitivo"

En resumen: Los profesores no podemos modificar con nuestra docencia un medio social y familiar desfavorecido, pero sí podemos influir en el desarrollo de actitudes positivas en nuestros alumnos, mediante comportamientos como los siguientes:

- ✓ Dar la imagen de personas adultas y equilibradas, lo que implica eliminar los posibles accesos de ira y el autoritarismo, pero también evitar caer en el extremo opuesto tratando de parecer un colega más.
- ✓ No dejar a ningún alumno tranquilo en su fracaso, mostrando interés por ellos, con el convencimiento real de que cualquiera, con los estímulos adecuados y el tiempo necesario, puede mejorar, rompiendo con la creencia (carente de fundamento), de que las personas nacen más o menos "listas" o "torpes" y que la educación tiene como finalidad seleccionar a los mejores.
- ✓ Desarrollar también el interés por nuestro trabajo, la materia y la forma de enseñarla, comprendiendo que se trata de un auténtico desafío científico y social que exige trabajo colectivo efectivo, es decir, más investigación didáctica específica e innovación en el aula y menos verborrea psico-pedagógica.
- ✓ Valorar positivamente los logros de nuestros alumnos, realizando un seguimiento continuo de su trabajo hasta lograr que hagan las cosas bien y todos cada vez mejor, atendiendo a sus preguntas y dando explicaciones satisfactorias para ellos.
- ✓ Dar testimonio de actitudes y comportamientos coherentes con la meta de educación para la sostenibilidad

En el **anexo 2** se proporciona una tabla en la que se comparan distintos comportamientos y características del profesor en el aula. Conviene trabajar en sus contenidos (y, en su caso, ampliarlos) una vez que se ha realizado la actividad anterior.

Finalmente, resaltar el hecho de que la importancia de este aspecto (características y comportamiento del profesor) en las actitudes de los alumnos, ha llevado a señalar que no basta con constatar que las clases de los profesores motivados, interesados por su materia y por sus alumnos, etc., funcionan mejor, sino que además es necesario investigar sobre cómo generar dicha motivación, completando los estudios realizados sobre las actitudes del alumnado hacia la ciencia y su aprendizaje, con otros sobre la actitud del profesorado hacia la ciencia y su enseñanza, actitud que indudablemente se relaciona con algunos aspectos ya tratados en este proyecto como las concepciones del profesor, pero también con otros factores externos como, las condiciones laborales, los recursos disponibles, el respeto y valoración de la sociedad hacia el trabajo docente, y las facilidades para una formación didáctica continuada (asistencia a cursos, congresos, etc.).

## 2.2. El clima del aula y del centro

Como ya señalábamos anteriormente, el medio en el que viven y se desarrollan los alumnos es uno de los factores principales a los que se atribuye una influencia determinante en el éxito o fracaso escolar de los mismos. Antes de entrar en valorar la influencia de este aspecto en las actitudes de los alumnos conviene, no obstante, que precisemos qué es lo que se debe entender como medio donde viven y se desarrollan los alumnos, ya que con frecuencia dicho medio se identifica de forma casi exclusiva con el contexto familiar, los amigos y la zona en donde se vive. Se olvida así que cualquier alumno pasa también una gran parte de su vida dentro de un aula con otros compañeros y con profesores, y que dicha aula se encuentra dentro de un centro escolar con unas características determinadas. Ambas cosas, el aula y el centro escolar, también forman parte del medio ambiente que interacciona con el alumno, de modo que su influencia o su responsabilidad en el éxito o fracaso escolar de los alumnos (y por tanto, en sus actitudes) no debería quedar al margen.

*Considerad cuáles deberían ser las características de un centro escolar eficaz destacando aquellas que se consideren más importantes.*

A este respecto, hemos de referirnos en primer lugar a los estudios que durante la década de los 60 y parte de los 70 del siglo pasado, se llevaron a cabo en los Estados Unidos con vistas a investigar el desigual nivel de los logros académicos de los alumnos. Una conclusión que parecía deducirse de sus resultados era que la institución escolar no es capaz de vencer las diferencias socioeconómicas de los alumnos haciendo que los pobres alcancen unos niveles académicos similares a los que, en promedio, corresponden a los alumnos de las clases sociales más altas, por lo que, consecuentemente, la clase social sería el factor determinante por excelencia del mayor o menor rendimiento académico de los alumnos. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que los estudios realizados se limitaban a analizar el impacto que sobre el rendimiento escolar de los alumnos tenían variables independientes fácilmente medibles, como el tamaño de la clase, la cantidad de libros de la biblioteca, las dotaciones de los laboratorios, o los años de docencia de los profesores. Así pues, esos resultados, si algo ponían en cuestión era la existencia de una relación significativa entre **la simple disposición** de este tipo de recursos y el rendimiento escolar.

En efecto, posteriormente, con el concurso de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias norteamericana se realizó, también en Estados Unidos, un ambicioso plan de investigación denominado Effective School Research, tendente a identificar las características comunes más importantes de los centros escolares más eficaces. En ellas, se pone el acento, no en la cantidad de recursos disponibles, sino más bien en el modo en que se utili-

## 7. Actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje \_\_\_\_\_

zan. A continuación resumimos algunas de dichas características y conclusiones correspondientes a las escuelas consideradas como destacadamente efectivas:

- ✓ Los recursos invertidos en una institución escolar ejercen mucha menor influencia que los procesos psicosociales, la calidad de las interacciones y la índole de las normas que caracterizan las relaciones entre los profesores, entre los alumnos y de los unos con los otros.
- ✓ Un conjunto limitado de objetivos bien definidos y operativizados, alcanzables y compartidos por los profesores, sobre los que se concentren los esfuerzos de todos los miembros de la comunidad escolar.
- ✓ Una adecuada estructuración de las actividades escolares, incluyendo aspectos referidos a su dosificación, ritmo, secuencia, nivel de dificultad, estímulos, elaboración de síntesis, etc.
- ✓ Un elevado tiempo escolar de aprendizaje o tiempo que realmente invierte el alumno en aprender mediante la realización en clase de las actividades propuestas. Ello requiere una notable participación activa de los alumnos (que han de asistir regularmente a clase), que las tareas sean coherentes con los objetivos y que el alumno experimente una notoria proporción de éxitos.
- ✓ Llevar a cabo un proceso de evaluación periódica con el fin de conocer en qué medida se están alcanzando los objetivos previstos. En estas instituciones escolares los profesores suelen alabar o valorar positivamente las ideas y los buenos resultados alcanzados por sus alumnos, estimulándoles en la tarea.
- ✓ Altas expectativas educativas que los profesores poseen respecto de los alumnos, de sí mismos y de la propia institución escolar.
- ✓ Altas expectativas que los alumnos y sus padres tienen respecto de los profesores y del centro escolar.
- ✓ Un clima escolar ordenado, de autodisciplina compartida, tanto en el ámbito de la clase como en la institución escolar en su conjunto. Ello supone que el centro funciona bien y que cada cual (órganos de gobierno, profesorado y personal no docente) realiza su trabajo y funciones adecuadamente.

La Effective School Research representa, en definitiva, un cambio de enfoque, en el que la institución escolar se convierte en la unidad de análisis, pero no en cuanto a los recursos disponibles, sino en el modo en que estos se utilizan.

La efectividad del centro escolar se incrementaría si además, dentro de sus objetivos o programa de centro, se contemplase explícitamente el de convertirse en un foco cultural que irradie su actividad no solo hacia su interior sino también hacia el exterior. Para ello es preciso poner en cuestión la idea de que las, injustamente denominadas, actividades extraescolares constituyen una especie de carga tolerada que hay que añadir a las actividades académicas ordinarias, reivindicando la importancia de que profesores y alumnos se involucren en este tipo de tareas, las cuales abarcan un amplio espectro: música, cine, teatro, poesía, exposiciones y talleres de ciencia, fotografía, visitas a museos, salidas al campo, prensa escolar, intercambios con alumnos de otros lugares, charlas con profesionales de determinados campos, actividades deportivas, etc. La programación cuidadosa y la realización de estas actividades, conjuntamente por profesores y alumnos, potencia un ambiente de socialización y dinamización cultural favoreciendo a su vez el proceso de enseñanza/aprendizaje, por lo que debería de ser un objetivo a tener en cuenta cuando se elabore el proyecto de actuación de cada centro.

Naturalmente, ninguna de las variables anteriores es por sí sola especialmente crucial pero no cabe duda de que, en conjunto, todas ellas interaccionan y se refuerzan mutuamente.

Dentro del centro escolar, existe una unidad básica a la que hay que conceder una importancia especial, dado no solo el tiempo que el alumno pasa en ella sino también lo que ocurre en su interior. Algunos autores llegan a afirmar, incluso, que el **clima del aula** y el **profesor**, son los dos factores que en la mayor parte de los casos pueden ejercer las influencias más fuertes, tanto en el interés y los sentimientos de los alumnos hacia las ciencias y su aprendizaje, como en la intención de proseguir estudios superiores de ciencias. Cómo conseguir un clima sereno y distendido de trabajo y el papel del profesor en este objetivo son, pues, cuestiones que merecen se les dedique la necesaria atención.

*Valorad críticamente la siguiente afirmación: Para que la clase funcione y exista un buen ambiente de trabajo es preciso que, desde el mismo comienzo de curso, quede claro que es el profesor quien manda, el que se encarga de la organización y el que impone las sanciones oportunas cuando lo cree necesario.*

Entre las posibles respuestas que podemos encontrar al plantear esta actividad, cabrían destacar dos posturas extremas que esquematizamos a continuación:

- a) Los partidarios del profesor autoritario que elabora e impone las normas de disciplina y decide las sanciones a tomar con aquellos alumnos que las incumplen.
- b) Los "no directivos" según los cuales el alumno es responsable de sí mismo y esta es la mejor forma de que se desarrolle. El profesor parece un compañero más, etc.

Como superación de ambas actitudes expondremos aquí lo que entendemos como **directivismo democrático** por parte del profesor. En este caso, son las necesidades del alumno y del grupo de clase, las que deciden la cantidad de dirección por parte del profesor. Se parte de la idea de que alguna dirección es necesaria. La misión del profesor a ese respecto es promocionar al alumno en la actividad directiva, en la toma de decisiones, pero sin abandonarle a sí mismo dándole más responsabilidad de la que es capaz, ni tampoco dirigiéndole en aquello que sí puede asumir en un momento dado. El profesor directivo democrático ha de ofrecer la imagen de una persona adulta y equilibrada. Ello implica eliminar por una parte las explosiones de autoritarismo, como son los accesos de ira, ridiculizar a los alumnos, no tener en cuenta sus opiniones, etc., pero también por otra, superar la infantilización, actitud en la que se suele caer cuando se trata de pasar por un colega más.

Los dos comportamientos descritos, contribuyen a desprestigiar al profesor como modelo de adulto y agente fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El papel que desempeña el profesor en la clase ha de ser fundamentalmente orientador y directivo. Conviene, por tanto, que ya al comienzo de curso, durante las sesiones iniciales, se dedique un tiempo a discutir la forma de organizar el funcionamiento de la clase y que el profesor vele para que se cumplan los acuerdos tomados al respecto, poniendo al servicio de la clase su autoridad racionalmente asentada, evitando la relajación que se podría producir con el tiempo. Cuando, a pesar de ello, surge algún nuevo problema, se analiza y se decide que es lo que hay que hacer. En el caso de tener que tomar alguna sanción, ha de procurarse que se realice en el momento oportuno, y de forma que no pueda dar la impresión de que se trata de nada personal. El objeto de la sanción sería así, el de hacer sentir al implicado el peso de la comunidad de la clase, pero sin herir su sensibilidad personal y tratando siempre de impulsarle hacia actitudes más solidarias y positivas.

Por otra parte, el desarrollo de un buen clima de trabajo en el aula exige que el profesor y los alumnos presten atención a toda una serie de detalles que han de ser asumidos por todos y que, aun pareciendo obvios, en algunos casos no se dan. Entre estos hemos de resaltar el cuidado y respeto por el medio físico de la clase y del centro (mobiliario, papeles, etc.), la asistencia regular a clase y la puntualidad, respeto a los demás, etc. En todos ellos el profesor ha de evitar cometer incoherencias (como llegar él mismo tarde a clase, asignarse determinadas prerrogativas, no preparar adecuadamente las sesiones de clase, retrasarse demasiado en dar las calificaciones de las pruebas realizadas, etc.) o pasar por alto posibles faltas de los alumnos (como rayar en las mesas, ensuciar la clase, inasistencia, perturbar el buen funcionamiento del grupo, burlarse o acosar a un compañero, tener actitudes machistas, etc.).

No podemos dejar de mencionar tampoco la influencia que para generar un clima adecuado de trabajo dentro del aula tienen los propios contenidos que se escojan y la forma de impartirlos. De poco serviría todo lo anterior si después resulta que los temas que se tratan y la forma en que se tratan no tienen ningún interés para los alumnos ni son capaces tampoco de generarlo. En este sentido, es necesario que el profesor no solo tenga en cuenta los intereses de sus alumnos, sepa conectar con ellos y presentar los contenidos de una forma atractiva sino, también, que consiga despertar nuevos intereses. Las orientaciones que hemos intentado fundamentar en los temas anteriores, sobre trabajos prácticos, resolución de problemas, introducción de conceptos, relaciones CTSA, etc., desarrollados adecuadamente, con los alumnos distribuidos en pequeños grupos que trabajan impulsados y orientados por el profesor, sin pretender que sean ni la única ni la mejor solución, ofrecen para los alumnos en general un mayor interés intrínseco que la enseñanza centrada en la simple transmisión verbal de conocimientos o la basada en el aprendizaje por descubrimiento inductivo y autónomo.

A través de estos subapartados, hemos intentado plantear algunas dudas acerca de la idea, bastante extendida, de que el hogar y el medio socioeconómico en que se encuentra el estudiante perteneciente a clases sociales desfavorecidas, son pecados originales que se alzan como verdaderas barreras infranqueables ante las cuales nada o muy poco se puede hacer. No cabe duda de que son factores que pueden tener un gran peso, pero también es cierto que, tanto el centro escolar en general como los propios profesores en particular, pueden y deben hacer mucho para superar el problema.

### **2.3. La autoestima del alumno**

En ocasiones se afirma que los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje, entendiéndose por ello que han de dirigir su atención hacia la tarea de aprendizaje y hacer uso de sus propios conocimientos para construir ellos mismos los significados. Este proceso ha de realizarse incluso cuando se tiene una actitud exteriormente pasiva como, por ejemplo, cuando se está leyendo o simplemente escuchando. Podemos añadir también que dicho proceso exige siempre un esfuerzo y que es el propio estudiante quien finalmente ha de decidir si va a realizar o no dicho esfuerzo.

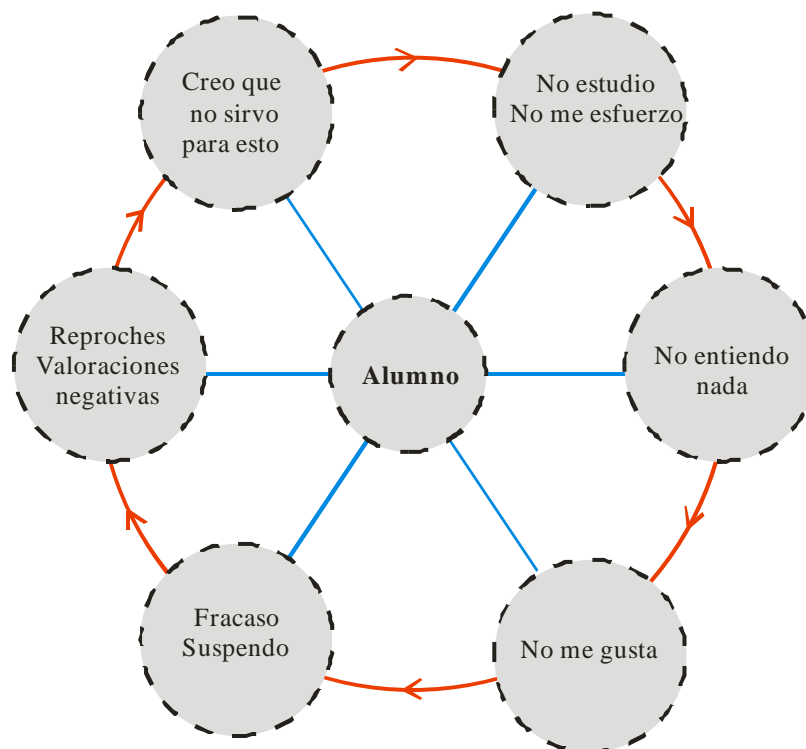
En definitiva, cualquiera que sea la capacidad intelectual de un alumno en un momento dado, éste tiene un completo poder para decidir sobre si intenta aprender algo o si, por el contrario, no aprende nada en absoluto. Hemos visto ya muchos factores que sin duda influyen en esta decisión pero la mayoría de ellos eran externos al propio sujeto que aprende. Vamos a considerar ahora uno interno al que se le atribuye una importancia especial.

Se trata del grado de confianza que el alumno tenga en general de sí mismo y en particular de su capacidad para tener éxito o no en el aprendizaje de las ciencias.

*¿Cómo se puede producir y consolidar en alguien el convencimiento de que posee una escasa o nula capacidad para los estudios de ciencias?*

Los resultados obtenidos a través de diversas investigaciones didácticas coinciden en señalar que una alta confianza de los alumnos en sí mismos y en sus posibilidades para aprender algo contribuye notablemente a un mayor éxito en dicho aprendizaje. Como es lógico, el razonamiento inverso también es válido y aquellos que tengan menos confianza en cuanto a sus posibilidades hacia las ciencias serán, en general, los que presentarán una menor disposición a realizar el esfuerzo necesario para aprenderlas, ya que pensar que se carece de competencias en un campo determinado, suele llevar a evitar aquellas experiencias que pueden poner de manifiesto tales carencias. Experiencias que por otra parte son, precisamente, las que podrían producir un aumento en la competencia y, consecuentemente, en la autoconfianza.

Naturalmente, la poca autoestima que algunos alumnos tienen en cuanto a sus posibilidades para las ciencias no es algo innato, sino que se trata de un sentimiento adquirido en su interacción con el medio exterior, por lo que, a pesar de que pueda tener una considerable estabilidad, es también modificable. En él influyen distintas variables como, lo influenciable que uno sea por las ideas y el comportamiento de las personas de su entorno (incluyendo compañeros y profesores), o sus experiencias y conocimientos anteriores, que pueden hacer que dicho sentimiento se consolide y actúe por sí mismo como un serio obstáculo para el aprendizaje. De esta forma, puede establecerse una especie de rueda o "círculo vicioso" en el que quedan atrapados.



Un alumno con actitudes negativas hacia una materia científica es evidente que no la estudia a gusto, por lo que es muy posible que no la entienda y que, por tanto, no experimente

el placer intelectual ni la motivación intrínseca que puede suponer el hecho de comprender algo nuevo o de ser capaz de llegar a resolver problemas para los que, de entrada, no encontraba ninguna solución. Esto suele conducir hacia un menor rendimiento académico y a las consiguientes valoraciones negativas, reproches familiares, comparaciones con otros alumnos o parientes que sí logran unos buenos resultados, etc. Todo ello puede provocar en el estudiante la sensación de que no sirve, de que esa asignatura no es lo suyo (justificando, de algún modo, su fracaso en ella) así como un sentimiento incluso de odio hacia la materia en concreto, ganas de que pase el mal trago y poder escoger otras materias u otras actividades en las que sí destaca, etc., con lo que el círculo queda cerrado. Lo ideal sería que ese círculo no llegase a establecerse y se reafirmaran esas actitudes inicialmente positivas hacia las ciencias que poseen la inmensa mayoría de los niños (lo que conecta con la necesidad de atajar el fracaso escolar en las edades más tempranas, poniendo ahí todos los medios necesarios para evitar que las posibles diferencias iniciales se agranden después).

*¿Cómo se puede producir y consolidar en alguien el convencimiento de que posee una buena capacidad para los estudios de ciencias?*

Si en la rueda anterior hemos dibujado los pequeños círculos con una línea discontinua, ha sido para resaltar que cada uno de ellos es permeable a la influencia de variables exteriores como, por ejemplo, un nuevo profesor con otros métodos de enseñanza, un cambio de amistades, o una mejora de las circunstancias familiares, que pueden tener una gran importancia para fomentar actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje; mediante la acción de dichas variables, y dedicando el tiempo necesario, es posible establecer una rueda alternativa. En ese caso, el alumno llega a percibirse como realmente capaz de hacer el esfuerzo intelectual y creativo que requiere el aprendizaje de las ciencias, le gustan, le interesan; tiene, en definitiva, actitudes favorables. Todo ello contribuye a que trabaje seriamente, dedique más tiempo al estudio y no "desconecte" en clase, lo que se traduce en una mejor comprensión y mejores resultados académicos. Resultados que serán valorados positivamente por sus padres, resto de la familia, conocidos y profesores, haciéndole alcanzar, posiblemente, un cierto prestigio que le impulsa a seguir por ese camino, con el convencimiento de que puede y de que vale. Naturalmente, también aquí los pequeños círculos son permeables y si, debido a influencias negativas o carencias graves, alguno de ellos falla, la rueda se puede romper.

Como hemos tenido ocasión de ver a lo largo de este tema, el grave problema que para el aprendizaje de las ciencias representa una actitud hacia asignaturas como la física y la química, marcada por el desinterés o incluso por el rechazo, nos remite a los análisis críticos que hemos realizado en temas anteriores acerca de la enseñanza de las ciencias, así como a las perspectivas y alternativas que allí se han ido abriendo. El que esto ocurra es lógico, ya que no se trata únicamente de buscar explicaciones a las actitudes negativas sino de plantearse qué podemos hacer para generar y consolidar actitudes positivas o incluso para producir un cambio actitudinal cuando ya existen actitudes negativas. Se hace, pues, necesario un esfuerzo explícito para contemplar el problema de las actitudes de los alumnos como un capítulo fundamental en la planificación del aprendizaje superando la tendencia a considerar la inclusión de estos contenidos en la educación, como un tipo de adoctrinamiento. Por otra parte, hay que tener en cuenta que el hecho de incorporar estos contenidos al currículo y conseguir interesar y motivar a los alumnos hacia el aprendizaje de las ciencias es una condición necesaria pero no suficiente para mejorar automáticamente dicho aprendizaje.



En resumen: El desarrollo y consolidación de actitudes más positivas hacia la ciencia y su aprendizaje es un proceso lento y complejo, que requiere de cierto esfuerzo y perseverancia por parte de los estudiantes y *de los docentes*, tanto mayores cuanto peor sea la situación inicial de los alumnos. Todo estudiante debería ser consciente de que, si realmente quiere, con la ayuda necesaria, puede aprender los contenidos de las materias científicas y llegar a disfrutar con ellas. Y todo profesor debería saber también, que es perfectamente factible que la mayoría de estudiantes, con la ayuda necesaria, alcancen esos logros.

En el tema siguiente estudiaremos la evaluación, un tema especialmente relevante no solo por el interés que despierta en alumnos y profesores sino también por su clara influencia en las actitudes de estos últimos hacia la materia.

**Referencias bibliográficas**

- CANNON, R.K y SIMPSON, R.D. (1985). Relationships among attitude, motivation, and achievement of ability grouped seventh grade life science students. *Science Education* 69 (2), pp. 121-138.
- CARRASCOSA J., FERNANDEZ I., GIL D. y OROZCO A. (1991). La visión de los alumnos sobre lo que el profesorado de ciencias ha de saber y saber hacer. *Investigación en la Escuela*. 14, 45-64.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1), 3-14.
- GIL, D. (1985). El futuro de la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación*, 278, 27-38.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C. y MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona)
- HASAN, O.E. (1985). An investigation into factors affecting attitudes toward science of secondary school students in Jordan. *Science Education*, 69 (1), 3-18.
- IZQUIERDO, M. 1994. ¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?. *Aula*, 27, pp. 37-40.
- KOBALLA THOMAS, J.R. (1988). Attitude and related concepts in science education. *Science Education* 72 (2), 115-126.
- LINN M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (3), 191-216.
- MANASSERO, MA y VÁZQUEZ, A,A. (2001). Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología y la sociedad. *Enseñanza de las ciencias*, 20 (1), pp. 15-27.
- MARTÍNEZ AZNAR, M.M., e IBAÑEZ ORCAJO, M.T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 193-206.
- OLIVA, J.M., MATOS, J., BUENO, E., BONAT. M., DOMINGUEZ, J., VÁZQUEZ, A. y ACEVEDO, J.A. (2004). Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las ciencias*, 22 (3), pp. 425-440.
- RIVAS, M. (1986). Factores de eficacia escolar: una línea de investigación didáctica. *Bordón*, 264, pp. 693-708.
- SIMPSON y OLIVER. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74 (1), 1-18.
- SOLBES, J y VILCHES, A. (1989). Interacciones CTS: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1), pp. 151-162.
- SOLER LLOPIS, JOAN BATISTE. (2000). *Las actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias*. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències. Universitat de València.
- SPEAR, M.G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6, pp. 369-377.
- VILCHES, A y GIL PEREZ, D. 2014. Chemical Education and Sustainability Science. A New and Powerful Source of Pupils' Motivation. *Educación Química* . Monográfico sobre Química y Sostenibilidad. (Pendiente de publicación).
- YAGER y McCORMACK (1989). Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. *Science Education*, 73, (1), 45-58.
- YAGER y PENICK (1984). What students say about science teaching and science teachers. *Science Education* 68 (2), 143-152.

## **ANEXO 1. INFLUENCIA DE DISTINTOS ASPECTOS DE LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LAS ACTITUDES DE LOS ALUMNOS HACIA LAS CIENCIAS Y SU APRENDIZAJE**

Presentamos un cuestionario que recoge para su valoración, distintas propuestas a tener en cuenta en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

1. Califica de 0 a 10 (color azul o negro) la validez que puedan tener las actividades y propuestas que se enuncian en los distintos apartados **para generar actitudes positivas** hacia el aprendizaje de las ciencias (10 indicaría máxima validez).
2. Indicar así mismo mediante una puntuación de 0 a 10 (color rojo) la opinión acerca de si dichas actividades **tienen una presencia adecuada en las clases** de ciencias (10 indicaría que se alcanza o supera la frecuencia deseable para una actividad dada).

Conviene que antes de calificar se lea cada apartado completo.

### **A. Contenidos a tratar**

- A.1. Los hechos, leyes, principios... que conforman el cuerpo de conocimientos de la ciencia estudiada.
- A.2. Las cuestiones y problemas cuya investigación ha conducido históricamente a la construcción de los conocimientos científicos.
- A.3. Los aspectos metodológicos y epistemológicos asociados a las características del trabajo científico.
- A.4. Las confrontaciones entre distintas concepciones científicas, ideas religiosas, etc., que muestren el carácter conflictivo y apasionante del desarrollo científico-tecnológico.
- A.5. Las implicaciones sociales del desarrollo científico-tecnológico y, en general, las complejas relaciones CTSA, incluidas las necesarias tomas de decisiones en este campo.
- A.6. Aquellos problemas "frontera" que favorezcan un tratamiento interdisciplinar.
- A.7. Aquellos aspectos de la vida diaria que puedan asociarse fácilmente con la ciencia estudiada.

### **B. Resolución de problemas y trabajo de laboratorio**

- B.1. Realizar prácticas de laboratorio siguiendo las indicaciones detalladas que se proporcionan en los textos y libros de prácticas.
- B.2. Resolver los problemas numéricos que incluyen habitualmente los textos.
- B.3. Abordar situaciones problemáticas abiertas como actividades de investigación.

Más concretamente, dicha actividad investigativa (que abarca tanto a las prácticas de laboratorio como a los problemas de lápiz y papel), puede incluir:

- B.4. Acotar y formular problemas precisos a partir de situaciones abiertas.
- B.5. Proponer explicaciones, hacer predicciones, etc., es decir, construir hipótesis fundamentadas sobre cuáles son las magnitudes relevantes y relaciones entre las mismas.
- B.6. Diseñar estrategias de resolución y/o experimentos que, junto con el manejo de conocimientos científicos ya establecidos, permitan contrastar la validez de las hipótesis.
- B.7. Llevar a cabo la estrategia planificada, realizando en su caso los experimentos diseñados, manejando instrumentos científicos.

B.8. Analizar cuidadosamente los resultados obtenidos cotejándolos con los obtenidos por la comunidad científica, viendo sus implicaciones teóricas y prácticas, las perspectivas abiertas, etc.

### **C. Manejo de la información**

- C.1. Estudio personal del libro de texto y apuntes de clase.
- C.2. Lectura y discusión de fragmentos del libro de texto.
- C.3. Lectura y discusión de noticias científicas.
- C.4. Lectura y discusión de artículos y/o libros de divulgación científica.
- C.5. Visionado y discusión de documentales, películas y vídeos sobre temas científicos.
- C.6. Lectura y discusión de fragmentos de memorias, artículos y libros escritos por los propios científicos.
- C.7. Familiarización con el uso de bibliotecas y hemerotecas.
- C.8. Uso de las nuevas tecnologías (ordenadores, móviles, cámaras, sensores ...).

### **D. Estilos de trabajo en clase**

- D.1. Sesiones consistentes básicamente en la explicación de contenidos por el profesor y la toma de notas por los alumnos, quienes pueden interrumpir pidiendo aclaraciones.
- D.2. Sesiones consistentes básicamente en el trabajo de los alumnos, organizados en pequeños grupos, en torno a programas de actividades, con puestas en común y con la dirección/ayuda del profesor.
- D.3. Sesiones consistentes básicamente en el trabajo del grupo clase, planteando el profesor cuestiones, moderando las intervenciones, etc.

### **E. Contactos con el "exterior"**

- E.1. Visitar fábricas, laboratorios, parajes naturales..., viendo como se realiza el trabajo científico y tecnológico.
- E.2. Trabajar algunos días en una fábrica, laboratorio, un paraje natural, etc., participando en tareas científico-tecnológicas.
- E.3. Visitas de museos y centros o exposiciones de ciencia-tecnología, tras una adecuada preparación previa y con aprovechamiento posterior.
- E.4. Recibir en clase la visita de especialistas en algún tema de interés.
- E.5. Realizar intercambios escolares con alumnos de otros grupos y centros, organizando "encuentros científicos", etc.

**F. Elaboración de productos por los alumnos**, destinados a ser presentados, comentados, etc., en clase y/o a otros colectivos (otras clases, otros centros, público en general).

- F.1. Reelaborar la información obtenida, construyendo esquemas, síntesis, mapas conceptuales, etc.
- F.2. Escribir "artículos" sobre temas científicos.
- F.3. Elaborar pósteres sobre temas científicos.
- F.4. Organizar colecciones (minerales, plantas, instrumentos, documentos gráficos, etc.).
- F.5. Construir aparatos científicos sencillos, talleres científicos en los que se puedan explicar y realizar experiencias interesantes, etc.

### **G. Expectativas y actitud del profesorado**

- G.1. Entusiasmo por la materia e interés por generar el entusiasmo de los alumnos.
- G.2. Interés por la docencia como tarea colectiva en una perspectiva explícita de innovación e investigación educativa.
- G.3. Creación de un clima de trabajo serio y al mismo tiempo distendido y cordial.
- G.4. Interés por favorecer el éxito de los alumnos prestando atención a sus progresos y transmitiéndoles expectativas positivas.
- G.5. Participación activa en favorecer un funcionamiento eficaz y sostenible del centro escolar.

### **Sugerencias y comentarios**

Incluid aquí otras actividades, comportamientos del profesor, etc., que puedan contribuir a generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias, así como cualquier comentario, crítica o sugerencia que se considere pertinente.

## ANEXO 2. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL PROFESOR EN EL AULA

En la tabla siguiente se dan algunas características y comportamientos posibles del profesor en aula que potencian actitudes negativas de los alumnos (columna de la izquierda) frente a otros considerados como favorecedores de otras actitudes más positivas:

<b>Fomentan actitudes positivas</b>	<b>Fomentan actitudes negativas</b>
Toma en consideración las opiniones de los alumnos	Solamente toma en consideración las opiniones de los alumnos en el caso de que coincidan con las suyas
Observaciones hechas con buenos modos	Es intolerante con los alumnos
Paciente	Impaciente, interrumpe
Se interesa realmente por los problemas de sus alumnos	No muestra ningún interés personal por los alumnos
Elogia a los alumnos por sus esfuerzos	Casi siempre se limita a criticar y censurar
Ayuda a tener vivencias de éxito	Sarcástico, parece alegrarse de los fracasos
Sentido del humor	Carece de sentido del humor
Se preocupa por igual de toda la clase pero procura tratar a cada cual según sus características individuales	Solamente se ocupa de unos pocos y descuida la clase en su conjunto, ignorando a los alumnos que van peor
Acepta las contestaciones de los alumnos, correctas o no, como intentos de aprender y las acompaña de comentarios de aprobación y no de rechazo	Amenazas de fracaso al estudiante: “Si no estás bastante interesado no deberías estar aquí”, o, afirmar (y pensar) respecto de un alumno que “por mucho que estudie no va a conseguir nada”
Diseña sus clases de forma que las actividades propuestas permitan conseguir aciertos con frecuencia	Señala las debilidades de un alumno, llamando la atención sobre ellas al resto de la clase
Hace que el estudiante sepa siempre qué es lo que ha aprendido y hacia donde se espera que vaya	No informa de la forma y criterios para evaluar a los alumnos
Averigua lo que el alumno ya sabe y actúa en consecuencia	Rehúsa contestar preguntas de los alumnos: “Eso ya deberías de saberlo” o “Eso ya lo debiste estudiar el curso anterior”
Su forma de ser y actuar en muchos aspectos (puntualidad, orden, respeto, trabajo, etc.), es coherente con lo que pide a sus alumnos	Tiene comportamientos incoherentes con los que pide tengan los alumnos.

## 8. LA EVALUACIÓN

Un aspecto clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje en el que tanto alumnos como profesores tienen un gran interés, es el de la evaluación. En efecto, cuando se implica a los alumnos al comienzo de curso en la tarea de establecer los objetivos generales de la asignatura, invariablemente surge la evaluación como uno de los temas que más les interesa. El profesorado de ciencias no es, en modo alguno, ajeno a este interés. De hecho, como ya se vio en el primer tema, al establecer lo que este colectivo debería de saber y saber hacer, la evaluación aparecía como uno de los aspectos más importantes. El interés por el tema de la evaluación, es también compartido por los investigadores en Didáctica y por los diseñadores de currículos, que atribuyen a la evaluación un papel esencial en la educación.

*¿Está justificado el interés, que tanto alumnos, como profesores e investigadores en general, tienen respecto a la evaluación?*

Tras reflexionar sobre el problema que plantea esta actividad, es posible clasificar las distintas razones aportadas en alguno de los siguientes grupos:

- ✓ La evaluación es quizás, la forma más clara de mostrar a qué se da realmente importancia en las clases.
- ✓ Tiene una gran influencia en los alumnos, que llegan a distribuir su tiempo de estudio y sus esfuerzos por aprender, en proporción directa a la probabilidad de que ciertos asuntos estén o no contemplados en la evaluación y en qué medida.
- ✓ Los propios profesores se sienten condicionados en su forma de enseñar, dependiendo de las características de los posibles exámenes oficiales externos que se les vayan a proponer a sus alumnos.
- ✓ Los investigadores argumentan que determinadas innovaciones en el currículo, no pueden ser consolidadas si no se reflejan adecuadamente similares transformaciones en la evaluación.
- ✓ Se trata de uno de los aspectos que puede ocasionar mayor confrontación entre profesores y alumnos, pudiendo contribuir (cuando ello ocurre) a un notable deterioro en el clima del aula.
- ✓ Los métodos o sistemas de evaluación usados por el profesorado pueden afectar profundamente, no solo a la cantidad de contenidos que los alumnos aprenden, sino también al tipo de conocimientos y otros aspectos importantes, como el modo de aprendizaje (desde meramente mecánico o repetitivo a realmente significativo) o la actitud e interés por la asignatura.
- ✓ La evaluación es uno de los dominios de la Didáctica en donde las ideas y comportamientos docentes espontáneos o "de sentido común", se muestran más persistentes.

Finalmente, añadir que la evaluación también es un aspecto clave para poder desarrollar de forma efectiva entre el profesorado un modelo alternativo para la enseñanza de las ciencias, que no tenga las deficiencias de los modelos convencionales.

Parece, pues, que el sistema de evaluación afecta de manera importante a los resultados educativos y, si esto es así, está más que justificado el interés y la preocupación que, en general, despierta entre todos los colectivos implicados. En el **anexo 1**, incluido al final del tema, se reproducen algunas citas, ya clásicas, que permiten apreciar la importancia atribuida a la evaluación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias desde hace ya muchos años.

Finalmente, conviene tener en cuenta que la mayor parte de los contenidos teóricos que hemos intentado fundamentar hasta aquí, así como sus implicaciones didácticas para el aula, propuestas innovadoras, etc., acabarían vaciándose de sentido, si no pudiese integrarse también dentro de todo ese corpus teórico a la actividad evaluadora, articulándose de forma coherente con todos los aspectos básicos que se han ido desarrollando en los temas anteriores.

### **¿Sobre que problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

Si la evaluación influye tanto en el aprendizaje, habría que plantearse qué es lo que puede hacerse para orientar dicha influencia hacia la obtención de los mejores resultados. Ello supone en primer lugar identificar aquellos aspectos de la evaluación sobre los que podamos incidir los profesores, introducir en ellos los cambios necesarios (teniendo en cuenta los posibles obstáculos que pueden presentarse) y proceder finalmente a una recapitulación para ver en qué medida se ha construido un sistema de evaluación coherente y capaz de llevarse a la práctica. Todo ello dentro de un determinado marco teórico que, en nuestro caso, no es otro que el cuerpo de conocimientos que constituye la Didáctica de las Ciencias, cuya consistencia, coherencia y globalidad, hemos intentado poner de manifiesto desde una concepción constructivista del aprendizaje a lo largo de todo este proyecto.

### **1. ¿LA EVALUACIÓN COMO INSTRUMENTO DE APRENDIZAJE?**

Como hemos visto anteriormente, los estudios realizados sobre las concepciones alternativas de los alumnos en ciencias, contribuyeron decisivamente a la propuesta fundamentada, de nuevas estrategias de enseñanza más adecuadas para producir un aprendizaje de las ciencias verdaderamente significativo. Las propuestas elaboradas se enmarcan, como sabemos, en un modelo de aprendizaje como investigación, que afecta, a casi todos los aspectos que se consideran claves en el proceso educativo, desde la propia introducción de los conceptos, a los trabajos prácticos, el modo de resolución de los problemas, las forma de abordar las relaciones entre ciencia-tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), etc.

Desde la perspectiva anterior, la evaluación, lo mismo que los demás aspectos didácticos que acabamos de enumerar, solo puede tener sentido convenientemente integrada dentro de ese marco teórico, contribuyendo así a su profundización y consolidación.



*¿Qué debería entenderse por evaluación desde una perspectiva coherente con todos los aspectos didácticos que hemos tratado hasta aquí?*

Dentro del marco teórico expuesto, es difícil encontrar algún tipo de justificación a una evaluación reducida al enjuiciamiento **objetivo** y **terminal** de los conocimientos asimilados por cada alumno. Por el contrario, evaluar consistiría en la constatación del funcionamiento del proceso educativo, determinando en qué grado se han conseguido las intenciones educativas y qué medidas conviene tomar. En este caso, lo que se evalúa no es únicamente a los alumnos sino a todo el proceso (incluyendo, naturalmente, la actividad del profesor) aprendiendo mientras se realiza, a la vez que se toman, justificadamente, y se llevan a cabo, las decisiones oportunas con el fin de mejorar dicho proceso.

*Precisad cuál sería el papel de la evaluación (sus funciones) en el proceso educativo, de acuerdo con la definición dada anteriormente.*

Se pueden considerar, entre otras, las siguientes propuestas (dadas en orden aleatorio):

- ✓ Ser un elemento de análisis de los resultados del proceso educativo (etapa, por otra parte, absolutamente necesaria en cualquier tarea con aspiración científica), determinando en qué grado se están alcanzado los objetivos inicialmente planteados y qué medidas conviene tomar en cada momento.
- ✓ Se trata de algo más que la simple constatación aséptica, ya que dicho análisis se realiza con el propósito explícito de mejorar el rendimiento del proceso, introduciendo para ello (de manera fundamentada) los cambios que sean necesarios. De hecho, ni siquiera la propia evaluación (cómo se plantea, sus características, etc.), puede ser inmune a dichos cambios, ya que -como se ha indicado- se trata de un aspecto fundamental del proceso educativo que tiene una gran influencia en el funcionamiento del centro, del aula, de las actitudes de los alumnos, etc.
- ✓ Si se trata de un instrumento necesario para alcanzar unos objetivos previamente asumidos, se tendrán que explicitar unos criterios claros de progreso, teniendo en cuenta los posibles obstáculos a superar para lograrlos, aunque evitando caer en taxonomías excesivamente pormenorizadas de objetivos operativos (expresión de una orientación conductista, hoy claramente en retroceso). Será necesario tener en cuenta tanto los grandes objetivos de la educación en el área o materia pertinente como los posibles obstáculos a superar para hacer posibles los cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales que esa educación entraña.
- ✓ Como es lógico, si hay que constatar el funcionamiento del proceso educativo, la evaluación habría de incluir otros elementos, además del aprendizaje de los alumnos, que también inciden en dicho proceso, tales como el trabajo y comportamiento del profesor, el clima del aula, el trabajo de los grupos, el funcionamiento del centro escolar, la calidad y adecuación de los materiales didácticos utilizados, etc. Por otra parte, desde este punto de vista, eliminar la evaluación significaría tanto como renunciar a la posibilidad de reorientar y de impulsar el proceso educativo. Ello, en el caso particular de los alumnos, supondría dejarlos sin ocasiones para conocer qué es lo que han aprendido y qué no, es decir, sin oportunidades para poder apreciar sus propios avances e identificar las dificultades.

## 8. La evaluación

---

des más importantes, los errores cometidos, etc., y al profesor, sin la oportunidad de proporcionar una retroalimentación adecuada.

- ✓ Si se pretende favorecer un aprendizaje realmente significativo, en la evaluación del aprendizaje de los alumnos junto con los contenidos conceptuales habrá que incluir también otros que hagan énfasis también en aspectos metodológicos y actitudinales, lo que supone romper con su habitual reducción de la evaluación a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la memorización repetitiva de los "conocimientos teóricos" y su utilización igualmente repetitiva y mecánica para resolver ejercicios de mera aplicación.
- ✓ Desde la concepción del aprendizaje que venimos desarrollando, el profesor se ha de considerar corresponsable de los resultados de sus alumnos. La cuestión fundamental no ha de ser quién merece una calificación positiva y quién no, sino qué ayudas precisa cada cual para seguir avanzando y alcanzar los objetivos básicos deseados. Para ello es necesario un seguimiento constante de los alumnos que oriente e impulse su trabajo.
- ✓ Las situaciones de evaluación han de ser percibidas por los alumnos como ocasiones de ayuda real, generadoras de expectativas positivas y útiles para tomar conciencia de sus propios avances, dificultades, etc. Para ello es necesario (entre otras cosas), prestar una atención especial a las actividades de "autorregulación", es decir, aquellas en las que el alumno, durante el proceso de su resolución, puede darse cuenta (y rectificar en su caso), de sus posibles carencias o limitaciones en determinados contenidos.
- ✓ La cuestión esencial no ha de ser averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la mayoría consiga hacerlas bien (y todos cada vez mejor). La evaluación por tanto, ha de realizarse a lo largo de todo el periodo de aprendizaje integrando sus actividades en el mismo para poder dar una retroalimentación adecuada y adoptar, en su caso, las medidas correctoras necesarias, reorientando e impulsando el trabajo de cada alumno.

Las funciones de la evaluación, pueden resumirse así en:

- a) Incidir en el aprendizaje (para favorecerlo)
- b) Incidir en la enseñanza (contribuyendo a su mejora).
- c) Incidir en el currículo (para ajustarlo a lo que puede ser trabajado con interés y provecho por la mayor parte de los estudiantes).

Una modificación de la evaluación tradicional por otro modelo en donde se contemplen las características anteriores, puede contribuir a que esta deje de verse (tanto por alumnos como por muchos profesores) como un sistema sancionador y se convierta en un verdadero instrumento de aprendizaje. Conviene, pues, que nos detengamos ahora brevemente a considerar cuál es el tipo de evaluación que generalmente se utiliza para evaluar a los alumnos en las materias científicas.

## 2. ANÁLISIS CRÍTICO DE LA EVALUACIÓN HABITUAL

*Realizad un análisis crítico sobre la forma en que habitualmente se suele evaluar a los alumnos, señalando las carencias y defectos que se hayan podido constatar.*

En el **anexo 2** se presentan algunas citas relativas a las características de la evaluación tradicional y a las dificultades para modificarla. Los resultados de esta actividad, cuando se ha ensayado con profesores de ciencias en activo, se pueden agrupar normalmente en dos bloques. Uno se refiere a la evaluación realizada por el profesor en su aula y el otro a la evaluación que periódicamente se suele realizar en los centros por el equipo de profesores de cada grupo o junta de evaluación.

En el primero, se suelen señalar aspectos como los siguientes:

Solo se evalúan contenidos puramente conceptuales, dejando de lado otros en los que se hace énfasis también en aspectos metodológicos y las actitudes de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje.

Se realizan las pruebas inmediatamente antes de la sesión de evaluación conjunta del grupo. No se realiza la evaluación a lo largo de todo el proceso, sino de forma discontinua. Esto hace que en muchos casos durante los últimos días que preceden a la sesión de evaluación del grupo de alumnos, éstos se sientan agobiados por demasiadas pruebas y facilita también que estudien de forma discontinua.

En ocasiones, se produce un exceso de "pruebas de recuperación". Las pruebas de recuperación tal y como son entendidas habitualmente, implican serias dificultades como: trastocar otras actividades ("no puedo participar en determinada actividad extraescolar porque tengo que recuperar ..."), se recarga el trabajo del profesor (que no para de corregir pruebas), no se impulsa a los alumnos a un trabajo continuo ("ya recuperaré más adelante ..."), se favorece el síndrome de jugador de lotería ("en una u otra recuperación tendré más suerte y aprobaré"), pudiéndose llegar a situaciones absurdas como que al final de curso un alumno haya de presentarse a una, dos o tres partes de varias asignaturas, perjudicándose en el resto, o incluso pretendiendo, en tan solo unos pocos días, aprobar una asignatura completa, etc.

No se preparan las pruebas de evaluación a la vez que los correspondientes contenidos a enseñar, sino que suele hacerse una vez que éstos ya han sido impartidos (a veces bastante después), lo que puede disminuir la coherencia deseable entre los contenidos tratados realmente y los que integran la prueba.

Hay profesores que no explican los criterios que siguen para evaluar las pruebas realizadas. Hacer explícito este conocimiento contribuiría a que los estudiantes desarrollen una competencia básica como es la de controlar mejor su propio aprendizaje.

En el segundo bloque se pueden ubicar, entre otras, las siguientes cuestiones:

Cada profesor va a la suya. No hay objetivos comunes, no hay coordinación de ningún tipo. En ocasiones se observa una gran disparidad en la forma de juzgar el aprendizaje alcanzado por los alumnos entre distintos profesores (incluso de la misma materia).

La sesión se reduce a que cada profesor enuncie las notas numéricas. Se trata de una situación coherente con la anterior ya que, si no existen otros objetivos comunes que la asimilación de unos contenidos conceptuales mínimos en cada asignatura, es lógico limitarse a dar una nota que lo refleje.

Cuando esta actividad se propone a profesores en formación, suelen aparecer además otros aspectos -casi todos ellos en forma de quejas- basados en su propia experiencia escolar, tales como: no se deja tiempo suficiente para realizar exámenes, no se hace una corrección pública de los mismos poco después, los profesores tardan mucho tiempo en dar las notas, las notas no son justas y no se atienden debidamente las reclamaciones, en determinadas fechas (inmediatamente antes de las sesiones de evaluación y hacia el final de curso) coinciden muchos exámenes, se suspende a mucha gente, las pruebas están diseñadas para ver qué es lo que no se ha aprendido y no al contrario, se realizan muy pocas pruebas (a veces solo una cada evaluación y especialmente en la universidad), no se conocen los criterios de calificación usados, etc.

Para poder cambiar los defectos que afectan a la evaluación, es preciso comenzar por analizar las posibles concepciones simplistas que los propios profesores puedan tener en torno a este aspecto.

### 3. ALGUNAS CONCEPCIONES DOCENTES SOBRE LA EVALUACIÓN

*Con objeto de favorecer la discusión sobre algunos de los aspectos esenciales de la evaluación, proceded individualmente a la corrección del ejercicio que suministre el profesor.*

Se trata de una actividad destinada a mostrar en vivo el valor relativo que pueden tener las notas calificadoras y en concreto, las expectativas del profesor respecto de cada alumno. Como puede comprobarse, el **anexo 3** consiste en una prueba sobre la comprensión de un concepto clave, realizada por un supuesto alumno, que en la mitad de los casos se advierte que se trata de una persona brillante, y en la otra mitad de alguien que "no va muy bien".

A pesar de ser la misma prueba, normalmente la calificación media alcanzada por el alumno conceptuado como "bueno", es significativamente superior a la media alcanzada por el conceptuado como "malo". Además, entre quienes evalúan al mismo tipo de alumno, las notas también pueden ser bastante diferentes. Estas diferencias se producen, sobre todo, cuando (como ocurre en la prueba propuesta) se trata de valorar algo más que simples fórmulas y resultados.

Los resultados de esta actividad contribuyen poderosamente a cuestionar la pretendida objetividad de las notas de los profesores (que en el caso de las ciencias suele verse como algo fuera de duda) y a cuestionarse la seguridad con que a veces nos empeñamos en mantener un 4'75 (seguridad que, en ocasiones, llega al punto de que ante la reclamación de algún alumno sobre un examen se le sube la nota en un apartado pero se le baja en otro, aduciendo que había sido calificado en exceso). Por otra parte, no tiene mucho sentido empeñarse en la objetividad de una calificación capaz de apreciar las centésimas en una materia como, por ejemplo, la física, en la que se insiste que toda medida viene afectada de una cierta imprecisión.

Los resultados pues, confirman el peso que de hecho tienen las expectativas del profesor sobre los alumnos. Esta conclusión puede apoyarse en la descripción de otras experiencias como las ya comentadas en el tema anterior sobre el llamado “efecto Pigmalión” o las realizadas en Gran Bretaña acerca de la influencia del sexo, mostrando cómo los mismos ejercicios son calificados más alto si son firmados por alumnos que si van firmados con nombres de alumnas.

Esta misma actividad da pie para que se discutan otros aspectos relacionados con la fiabilidad de las calificaciones de las pruebas, como el momento en que se corrige (por ejemplo, un mismo examen que se corrige después de tres malos suele obtener una calificación mejor que si se corrige después de tres buenos), aspectos relativos a las características de las equivocaciones cometidas en el examen (por ejemplo, un mismo error se suele penalizar más si aparece al principio que si lo hace al final, si un error aparece varias veces se penaliza más que varios errores independientes entre sí, etc.).

Finalmente habría que recordar que alumnos con buenas calificaciones no tiene por qué suponer aprendizajes verdaderamente significativos, tal y como una abundante literatura sobre la persistencia de concepciones alternativas, se ha encargado de mostrar.

La actividad anterior permite reflexionar sobre una concepción espontánea acerca de la evaluación del alumnado en las materias de ciencias: el mito de que **resulta fácil evaluar con objetividad y precisión**, causado, en parte, por determinadas concepciones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico (que ya analizamos en el tema 2 de este proyecto). No obstante, junto a ella, se suelen dar otras ideas y comportamientos espontáneos sobre la evaluación, que también conviene tener en cuenta. Todo ello forma parte del modelo de enseñanza-aprendizaje por transmisión-recepción de contenidos científicos conceptuales ya elaborados. La evaluación en dicho modelo, se suele reducir a la medición -al final de periodos de aprendizaje más bien largos- de la cantidad de conocimientos asimilados por el alumno. Este hecho, junto con las visiones simplistas sobre la ciencia, es lo que favorece fundamentalmente la existencia de ciertas concepciones y comportamientos docentes espontáneos sobre la evaluación que se apoyan mutuamente, como los que vamos a considerar a continuación.

*Tratad de enumerar, a título de hipótesis, otras ideas y comportamientos docentes espontáneos respecto a la evaluación que convenga analizar.*

Entre las ideas y comportamientos que pueden citarse (además del que acabamos de comentar), conviene prestar atención a los siguientes:

- ✓ Tendencia a limitar la evaluación a lo más fácilmente medible, evitando así todo aquello que pueda dar lugar a respuestas “imprecisas”. Llevada al extremo, supondría calificar un problema solo por el resultado, aunque lo habitual es huir de preguntas en las que haya que realizar algún tipo de análisis escrito o valoración crítica y primar aquellas en las que simplemente se aplican fórmulas que llevan a obtener un determinado resultado numérico. Con ello se dejan de lado aspectos fundamentales de la metodología científica, así como las relaciones CTSA.
- ✓ Tendencia a recortar el tiempo de las sesiones de evaluación. El alumno no puede dedicar tiempo a consideraciones cualitativas, analizar resultados o argumentar siquiera brevemente qué es lo que hace y por qué. Este comportamiento se refleja en otras situaciones como, por ejemplo, los problemas resueltos que suele

reducirse a un tratamiento meramente operativo y lineal, sin apenas otra verbalización que los “así pues”, “de donde”, etc.

- ✓ Concepción determinista y elitista para el aprendizaje de las ciencias (ya tratada en el tema 2 de este proyecto) que lleva a considerar que una materia científica como, por ejemplo, la física no puede estar al alcance de todos y, consecuentemente, que una evaluación bien planteada deberá poner de manifiesto el fracaso “inevitable” de un porcentaje importante de alumnos, discriminado a los “buenos” de los “mediocres” y los “malos”. Ello lleva, en algunos casos, a relacionar enseñanza de ciencias seria y de calidad con elevado número de suspensos.
- ✓ No relacionar los malos resultados con la didáctica empleada. Se trata de una tendencia autoexculpatoria consistente en justificar los malos resultados en base únicamente a factores externos tales como la poca capacidad de los alumnos, el medio familiar, el medio social o las enseñanzas precedentes al nivel que nosotros estemos impartiendo.
- ✓ Reducir la evaluación a un mero instrumento de calificación. Coherente con la idea de evaluación como juicio terminal, obstáculo a superar y la actuación del profesor en la misma como juez pero no parte.

...

La existencia de comportamientos y concepciones como las anteriores supone un serio obstáculo (lo mismo que otras concepciones simplistas que ya hemos tenido ocasión de analizar) para poder mejorar de forma efectiva el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, por lo que hay que tenerlas presentes y salir al paso de las mismas. Consecuentemente, nos plantearemos a continuación, qué aspectos del aprendizaje de las ciencias deberían ser evaluados para evitar que una incorrecta selección de los mismos, pueda contribuir a fomentar las concepciones simplistas que acabamos de analizar.

#### 4. ¿QUÉ TIPOS DE ACTIVIDADES EVALUADORAS CONVIENE UTILIZAR?

*Enumerad precisando todo lo posible (sin proponer todavía ejemplos concretos), qué tipos de actividades convendría utilizar en las pruebas de evaluación de una materia científica como la física o la química.*

Aprender ciencia o en otras palabras, desarrollar la competencia científico-tecnológica en el alumnado, supone fundamentalmente atender a dimensiones (o sub-competencias) relativas a los conceptos, a los procedimientos y a las actitudes y diseñar actividades con las que se puedan evaluar tales dimensiones. A continuación, se proponen algunos ejemplos sobre los que se puede trabajar y también añadir otros que se echen en falta.

##### 4.1. Actividades con énfasis en aspectos de tipo conceptual:

Una gran parte de este tipo de actividades se trataron en el tema 5 sobre ideas alternativas y aprendizaje de conocimientos teóricos, el cual se puede revisar para más detalle.

Situaciones de cambio conceptual (por ejemplo, cuestiones que puedan poner de manifiesto la superación de determinadas ideas alternativas, como se ve en el tema 5).

Significado físico de conceptos.

Utilización de los mismos conceptos en diferentes contextos.

Delimitación del campo de validez de distintas expresiones.  
 Significado físico de algunas constantes que aparecen en ciertas expresiones básicas.  
 Significado físico de las unidades utilizadas para medir magnitudes.  
 Actividades en donde los alumnos tengan que utilizar determinadas leyes y principios básicos (por ejemplo, en problemas de lápiz y papel).  
 Realización de esquemas y de mapas conceptuales, de síntesis y recapitulaciones.  
 Demostraciones teóricas, deducción de expresiones y fórmulas, aplicación de las mismas en distintos contextos.  
 ...

#### **4.2. Actividades que junto con la utilización de aspectos de tipo conceptual, hagan énfasis en aspectos de tipo metodológico:**

Para más detalle se pueden consultar los temas 3 (sobre trabajos prácticos) y 4 (sobre resolución de problemas). En general, podemos agrupar aquí todas aquellas actividades que supongan la ocasión de practicar aspectos esenciales de la metodología científica.

Realización de planteamientos cualitativos.  
 Formulación de hipótesis.  
 Invención de situaciones límite.  
 Diseño de posibles formas de contrastación de las hipótesis.  
 Manejo de instrumentos y aparatos.  
 Análisis de resultados (expresiones obtenidas, representaciones gráficas, fiabilidad...)  
 Búsqueda bibliográfica.  
 Elaboración de memorias de trabajos prácticos en donde se destaquen los aspectos de la metodología científica desarrollados.  
 Elaboración de un cuaderno de trabajo en donde se reflejen de forma ordenada todas las tareas realizadas en clase, etc.  
 Problemas o partes de problemas de lápiz y papel abiertos, que se aborden por los alumnos como pequeñas investigaciones.  
 Construcción e interpretación de gráficas.  
 Trabajo en equipo.  
 Actividades que muestren las conexiones existentes entre distintos temas de una misma ciencia (por ejemplo, saber resolver un problema mediante consideraciones de cinemática y dinámica, pero también mediante trabajo y energía), así como entre contenidos relativos a distintas materias científicas.  
 ...

#### **4.3. Actividades con énfasis sobre la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico en general y sobre diferentes aspectos de las relaciones CTSA en particular:**

Los ejemplos incluidos en este grupo provienen de los contenidos tratados fundamentalmente en los temas 2 y 6 y también al final del tema 3, y en el tema 11, a los que remitimos para un mayor detalle.

Situaciones de cambio epistemológico (por ejemplo, cuestiones para determinar si han superado determinadas ideas simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico).  
 Explicación del funcionamiento de utensilios cotidianos.  
 Recogida y comentario (utilizando los conocimientos pertinentes) de algunas noticias de prensa sobre temas de interés en los que se esté trabajando.

Debates sobre algunas de las consecuencias sociales y ambientales del desarrollo científico-tecnológico (en épocas anteriores y en la actualidad).

Toma de decisiones, sobre los problemas medio ambientales y de todo tipo derivados del uso que hacemos del desarrollo científico-tecnológico.

Participación en acciones concretas para favorecer la sostenibilidad (como por ejemplo, ahorrar energía y papel o reciclar en el propio centro escolar).

...

Como podemos ver, el intento de concretar las nuevas actividades de evaluación en función de su contenido, nos ha conducido a proponer tipos de actividades muy semejantes a las que cabe establecer para el aprendizaje de las ciencias como investigación, lo cual es totalmente lógico si tenemos en cuenta que todo aquello que merece incluirse en el currículo, debe ser evaluado. En este sentido, no podemos olvidar que una de las principales virtudes de la evaluación ha de ser que favorezca el desarrollo de un mayor interés y de actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje. Conviene, pues, añadir un cuarto tipo de actividad evaluadora, que por su contenido podría ubicarse en cualquiera de los tres anteriores, pero en la que su característica principal es la de haber sido diseñada explícitamente para impulsar el cambio actitudinal.

#### **4.4. Actividades con énfasis en aspectos actitudinales:**

Como ya vimos en el tema anterior, los alumnos construyen una visión de sí mismos, de la misma forma que construyen sus ideas sobre los fenómenos naturales. Esta visión de sí mismos, se refleja en su propia autoconfianza, autonomía y sentido de competencia. Todo ello afecta de manera muy importante a cómo regulan su propio aprendizaje, determinando su motivación y esfuerzo personal. Por tanto, es esencial estudiar cómo podemos contribuir, desde la evaluación, a desarrollar actitudes más positivas hacia el aprendizaje de las ciencias, fomentando la autoestima y la confianza.

*Proponed algunas ideas sobre posibles formas de actividades evaluadoras que puedan ayudar a que los alumnos incrementen su autoestima y confianza respecto a su capacidad para aprender una materia científica.*

Planteada de esta forma, la actividad permite que surjan algunas ideas de interés, que el profesor (en el caso de cursos de formación docente) puede ir analizando y, si es necesario, reformular. En concreto, conviene reflexionar y argumentar sobre algunas posibilidades como las que se proponen a continuación:

- ✓ Pasar un cuestionario inicial en el que se puedan poner de manifiesto determinadas concepciones alternativas sobre un tema concreto (sin proceder a su corrección inmediata) y, tras haber trabajado en el tema, pedirles que lo vuelvan a cumplimentar comparando sus respuestas con las que dieron inicialmente, lo que permite reflexionar sobre lo que se ha aprendido.
- ✓ Dar a los alumnos actividades resueltas erróneamente (o con respuestas incompletas o imprecisas), pidiéndoles que las corrijan y argumenten sobre lo que está equivocado o lo que falta, etc. Se trata, esencialmente de utilizar los errores como herramientas de aprendizaje, análogamente a como ya vimos en el tema 5 con los errores conceptuales presentes en cómics y otros medios.



- ✓ Proponer alguna actividad difícil de cumplimentar correctamente sin el dominio de determinados conceptos y relaciones, con lo que las respuestas serían en principio bastante limitadas o confusas, para volverla a proponer más tarde, cuando ya se dominen los conceptos pertinentes. Por ejemplo: describir cómo funciona un sacacorchos de los de meter aire en una botella, una cafetera o una simple ventosa, antes y después de estudiar la naturaleza y comportamiento de los gases; describir una carrera de 100 m lisos antes y después de haber estudiado cinemática; o explicar en qué consiste la respiración animal antes y después de haber estudiado sus relaciones con la digestión y la circulación, etc.).
- ✓ Proponer actividades en donde durante su resolución, se dé ocasión a los alumnos para rectificar sus propios errores (actividades de **autorregulación**). Ello puede hacerse, por ejemplo, permitiendo la consulta por los alumnos al profesor, de algunas dudas durante la realización de una prueba, o diseñando la pregunta de forma que conste de dos o más partes, de manera que, una vez que los alumnos han contestado la primera, el profesor proponga una segunda elaborada de tal forma que su realización permita replantearse y corregir, posibles fallos o carencias cometidos en la primera. Es decir, actividades presentadas a los alumnos de modo que ellos tengan ocasión de reflexionar y darse cuenta de sus propios avances, carencias o dificultades, al realizarlas y permitiendo al profesor suministrar una retroalimentación adecuada en el mismo momento en que los alumnos están realizando la actividad (ved **anexo 4**). La incorporación explícita de este tipo de actividades no solo en el desarrollo normal de una clase, sino también en otros momentos de evaluación especiales, como exámenes, pequeñas pruebas, etc., es un indicador de que la evaluación se está utilizando para incidir en el aprendizaje. Este tipo de actuaciones, bien realizadas, pueden ayudar a explotar de modo positivo la "tensión evaluadora" convirtiendo los exámenes en ocasiones privilegiadas de aprendizaje.
- ✓ Valoración de "productos" elaborados por los alumnos (prototipos, colecciones, carteles, experiencias, etc.), de su participación en exposiciones científicas, comentarios sobre visitas a museos, análisis de recortes de prensa con noticias científicas, etc.

Otros aspectos importantes de la evaluación, que también es preciso considerar, son los instrumentos a utilizar y el momento en que se produce la evaluación.

## 5. ¿CÓMO EVALUAR EL APRENDIZAJE DE LOS ALUMNOS?

*Discutid a través de qué métodos o instrumentos concretos podría evaluarse el aprendizaje de los alumnos, precisando en lo posible las características de los mismos.*

**a)** En primer lugar, conviene tener en cuenta que, de acuerdo con lo que hemos venido tratando hasta aquí, una estructuración de la clase en pequeños grupos de trabajo y de los temas en programas de actividades debidamente secuenciadas para avanzar en la solución de los problemas inicialmente planteados, permite que cada una de esas actividades constituya una ocasión para el seguimiento del trabajo de los alumnos, lo que posibilita a su vez la adopción "sobre la marcha" de las medidas correctoras que con-

venga. Por tanto: **el modo en que se vaya avanzando en el programa de actividades, puede ser, en sí mismo, un excelente instrumento de evaluación.**

Naturalmente, lo anterior no invalida la utilización de otras formas o instrumentos de evaluación como los que, en orden aleatorio, se proponen a continuación:

**b)** Las cuestiones específicamente elaboradas para la detección y/o tratamiento funcional de posibles concepciones alternativas y, en general, de ideas simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico.

**c)** Los trabajos de tipo especial, que se realicen fuera del aula como, por ejemplo, la construcción de algún instrumento sencillo, trabajos de vacaciones, consultas bibliográficas, construcción de algún mural, etc.

**d)** Las memorias de los trabajos prácticos realizados.

**e)** Los pequeños ejercicios sencillos sobre algo tratado el día anterior, cuyo objetivo fundamental es impulsar el trabajo diario revisando en casa lo que ya se ha tratado en clase. Ello permite además, reunir un elevado número de resultados e información sobre cada alumno, reduciendo la aleatoriedad de una única valoración.

**f)** La libreta de clase del alumno, en donde de forma ordenada ha de ir recopilando todo aquello que se va haciendo (desarrollo de las actividades del tema, trabajos prácticos, problemas, trabajos de consulta, documentos anexos, las diferentes pruebas y ejercicios de evaluación, etc.).

Las propuestas realizadas hasta aquí no invalidan la utilización de otras pruebas más extensas, como los exámenes globales de uno o varios temas.

**g)** Las pruebas globales, que se realizan tras haber desarrollado un bloque extenso de conocimientos. A menudo, las pruebas globales se perciben como simples instrumentos de calificación de los alumnos, por lo que suponen de aleatoriedad, tensión bloqueadora, ansiedad, etc. No obstante, un examen de este tipo, puede ser también una ocasión para que el alumno se enfrente a una tarea compleja poniendo en juego todos sus conocimientos y habilidades, convirtiéndose en una actividad de aprendizaje, si se cumplen algunas condiciones como las que enumeramos a continuación:

- ✓ La prueba, así como los criterios para valorarla, conviene que sea diseñada por el profesor a la vez que el resto de actividades de que consta el tema, como una parte fundamental de éste y no después (cuando, posiblemente ya se está viendo otra cosa), intentando siempre recoger en ella algunos de los objetivos más importantes de dicho tema (y del curso en general).
- ✓ Al tratarse de una prueba global, ha de ser coherente con los distintos tipos de contenidos que conforman el tema y contemplar, por ejemplo, desde análisis cualitativos de situaciones abiertas, al tratamiento de las relaciones CTSA, la interpretación de los resultados de un experimento, etc.
- ✓ Es necesario que sea devuelta corregida lo antes posible y se discuta en clase cuestión por cuestión, analizando las posibles respuestas, los tipos de errores

aparecidos, los criterios de calificación, etc. Los alumnos, con su examen delante, suelen mantenerse muy atentos y participativos, de forma que estas sesiones pueden convertirse en situaciones de autorregulación muy eficaces.

- ✓ Tras la discusión, se puede proponer algún pequeño ejercicio sobre aquellos aspectos del examen global que más dificultades hubieran planteado.
- ✓ Antes de realizar ejercicios globales amplios, conviene no avanzar en el programa y dedicar algunas sesiones a su preparación, que no ha de limitarse a la mera consulta de dudas (*¿hay alguna duda? ¿no? ... pues pasemos al tema siguiente*), revisando aquello que se considera esencial.
- ✓ Durante pruebas amplias, los alumnos no han de sentirse agobiados por el tiempo. Una prueba que cuando se agota el tiempo, muy pocos la han finalizado, es una prueba mal diseñada, que favorece la metodología de la superficialidad, respuestas irreflexivas, la falta de argumentación, etc.
- ✓ En ocasiones, puede resultar positivo dar a los alumnos que lo soliciten una cierta dosis de información mientras se está realizando una prueba. Como, por ejemplo, cuando no recuerdan alguna expresión o desconocen un aspecto concreto que les impide seguir adelante.

En resumen, podríamos decir que los alumnos han de ver debidamente valoradas todas sus realizaciones, todos sus productos, colectivos e individuales. De esta forma se incrementa la información disponible para valorar su aprendizaje y se contribuye a que éstos vean reconocidos todos sus esfuerzos.

*Considerad qué ha de entenderse por evaluación continua y la forma de realizarla.*

Evaluación continua significa que continuamente se está constatando que las cosas funcionan correctamente, conociendo en qué nivel se está en cada momento y si se puede o no seguir adelante, en qué hay que insistir, etc.

Tras cada evaluación, si se ha de juzgar el grado de aprendizaje conseguido por cada alumno, por ejemplo mediante una puntuación o nota numérica, dicha nota debería equivaler a la que obtendría si en ese momento finalizase el curso y tendría que ser la concreción de muchas anotaciones anteriores, correspondientes a pequeños ejercicios, valoraciones del trabajo de clase, actividades prácticas, pruebas globales, posibles trabajos extra, etc. Un número suficiente de tales anotaciones (que no tienen por qué ser exclusivamente numéricas) en cada alumno, facilita un juicio cualitativo bastante aceptable, respecto a lo que el alumno ha aprendido y lo que le falta por aprender.

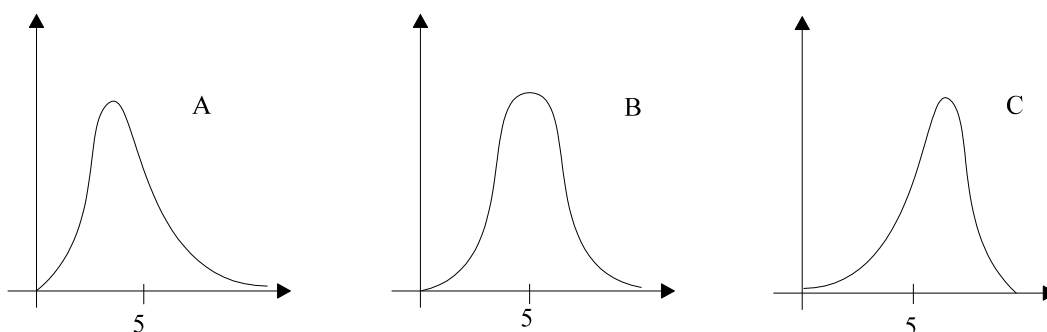
En cualquier caso, es preciso ser consciente, de que un fracaso masivo de la clase, es también un fracaso de la acción del profesor y la consiguiente necesidad de replanteamientos.

Carece de sentido la multiplicación de exámenes y más pruebas durante los últimos días de curso. Por el contrario, conviene utilizar éste periodo para revisar temas ya vistos, tratar otras cuestiones de interés (aunque no se evalúen), etc., y considerar la posibilidad

de aprobar a los alumnos "dudosos" antes que hacerles sufrir realizando más pruebas, que lo único que suelen conseguir es cada vez peores resultados.

Finalmente, conviene puntualizar que evaluación continua significa también prestar una atención especial y regular durante todo el curso hacia aquellos alumnos que tengan más dificultades mostrando interés por los mismos, haciendo un seguimiento de su trabajo, destacando y valorando positivamente los éxitos que consigan, etc. Todo ello en las antípodas de ignorarles, no preguntarles nunca, etc. En definitiva: se trata de no dejar a ningún alumno tranquilo en su fracaso y ser consciente de que el mérito profesional no está en conseguir que los alumnos que ya trabajan y aprenden sin demasiadas dificultades, sigan haciéndolo (cosa relativamente sencilla), sino más bien en lograr que los que en un momento dado van mal, puedan progresar y cambiar incorporándose al resto.

*Suponed que los gráficos adjuntos representan posibles distribuciones de las calificaciones obtenidas al pasar una prueba (que puede o no ser la misma) a tres grupos distintos de alumnos. Dad posibles explicaciones de la forma del gráfico en cada caso.*



Se trata de una cuestión para finalizar este apartado, que ha de permitir comprobar el avance conseguido hasta este momento. Al estar planteada la cuestión de un modo abierto, es el propio encuestado quien debe acotarla. Según el autor de la cuestión, los términos en que se realice dicha acotación, serán un indicador más de las ideas y expectativas que se tienen al respecto. La cuestión así planteada, fue pasada a 63 profesores de física y química no universitarios españoles<sup>1</sup>, de los que más del 75 % consideraron que los resultados de una prueba final deben distribuirse alrededor del 5 y que si se obtienen unos resultados globales mejores se puede sospechar que el examen ha sido demasiado fácil, el profesor no ha exigido lo suficiente o ha sido excesivamente benévolo en la corrección. Solo un profesor de los encuestados consideró la posibilidad de que se tratase de una prueba no final, a pesar de que el texto no se define a este respecto. Finalmente, a la hora de proponer posibles causas, más del 80 % citaba causas en las que se ponía de manifiesto una concepción determinista, sin cuestionarse qué se puede hacer para mejorar los resultados. Así la causa más citada era el perfil social de los evaluados, lo cual es perfectamente coherente con el modelo de enseñanza por transmisión en donde se supone que si se brindan los contenidos adecuados, **solo** dependerá del interés o características de los alumnos el que éstos sean adquiridos, exculpando a la didáctica empleada al no apreciar otros factores intervinientes que podrían ser modificados, como el comportamiento del profesor, la metodología de trabajo o la forma de calificar.

<sup>1</sup> En España las calificaciones suelen darse en un rango que va del 0 al 10. Por debajo del 5 se considera suspenso, el 5 es aprobado, el 6 bien, el 7 y el 8 notables y el 10 sobresaliente.

## 6. ¿CUÁL ES EL PAPEL DE LA CALIFICACIÓN?

El trabajo desarrollado hasta aquí nos ha permitido romper con la habitual identificación entre evaluación y calificación de los estudiantes, fundamentando una propuesta de evaluación como instrumento para favorecer el aprendizaje y mejorar la enseñanza (aunque, hasta el momento, nos hayamos centrado únicamente en el aprendizaje de los alumnos). La cuestión a plantearse ahora es si en la propuesta de evaluación realizada, la calificación de los logros (en sentido amplio) de los estudiantes conserva alguna funcionalidad y, en su caso, qué forma de calificación puede resultar coherente con dicha propuesta.

Para empezar, conviene tener en cuenta que toda evaluación conlleva una valoración es decir, una calificación más o menos explícita, que se produce tanto al señalar al estudiante la necesidad de profundizar o rectificar determinados aspectos como al aceptar el trabajo realizado sin hacer enmiendas sustanciales al mismo. Ello es inevitable y ocurre aunque la función esencial de la evaluación no sea la valoración del producto sino favorecer su mejora. Es por ello que la pregunta que nos vamos a plantear aquí no es si debe haber o no una calificación, sino si conviene traducir las valoraciones inherentes a toda evaluación en calificaciones.

*Reflexionad acerca del papel de la calificación en los investigadores noveles, que es la situación que inspira el modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias con el que estamos trabajando.*

Un mínimo análisis de las situaciones de formación de investigadores científicos, como por ejemplo la que se presenta en la preparación y desarrollo de una tesis doctoral, permite constatar que, aunque la evaluación representa un papel fundamental a lo largo de todo el proceso (en forma de seguimiento constante de la labor del doctorando), la calificación explícita está prácticamente ausente. En efecto, las críticas y sugerencias del director no constituyen un enjuiciamiento externo sino una contribución interesada y como tal es percibida por el doctorando. Solo cuando doctorando y director consideran ambos que el producto es aceptable se somete a la valoración de otros investigadores, de modo que la lectura de la tesis ha llegado a convertirse en un acto protocolario que sanciona un producto que habitualmente cuenta ya con la aceptación de los miembros del tribunal (a los que previamente se les han hecho llegar borradores para que puedan expresar sus críticas y sugerencias). Ello ha hecho que las calificaciones habituales (aprobado, notable, etc.) hayan sido sustituidas por un simple apto o no apto.

Lo esencial, pues, es garantizar que el producto obtenido sea satisfactorio. Esto puede obligar a prolongar el periodo de realización e incluso a abandonar la investigación en vista de las dificultades encontradas o porque se decide orientar los esfuerzos en otra dirección.

*¿En qué medida conviene o es posible hacer un planteamiento de la evaluación y de la calificación similar al expuesto en la actividad anterior, en una clase de ciencias?*

En la medida en que el marco teórico que hemos expuesto contempla la metáfora de los estudiantes como investigadores noveles y el profesor como un investigador experto, consideramos que un planteamiento como el que se acaba de describir en la actividad anterior para la evaluación y calificación es adecuado. En él lo esencial es orientar la evaluación como una ayuda para la consecución, en el tiempo que sea necesario, de los

## 8. La evaluación

---

logros perseguidos y que la calificación suponga tan solo el reconocimiento de dichos logros. La evaluación final en sí misma solo debería tener la finalidad de certificar el éxito del aprendizaje. Sin embargo esta orientación precisa de algunas matizaciones:

- ✓ La relación del profesor con cada estudiante no puede ser tan cercana como la que se da entre el director de una investigación y cada uno de los miembros del equipo de trabajo.
- ✓ El estudiante no puede centrarse en su trabajo con la misma dedicación que un doctorando en su investigación.
- ✓ No puede pedirse a un estudiante la misma responsabilidad ni capacidad que a un investigador real.
- ✓ No es posible retrasar indefinidamente el momento de la calificación del trabajo desarrollado por los estudiantes.
- ✓ La calificación de los estudiantes se realiza habitualmente por el profesor encargado de darles clase.

Todo lo anterior justifica que la evaluación del trabajo de los estudiantes incluya indicaciones más explícitas y frecuentes del grado de consecución de los logros que se persiguen. Se trataría en definitiva de hacer explícitas las valoraciones que en los comentarios de una evaluación **formativa** aparecen ya implícitamente.

*Considerad cuáles deberían ser las características de la calificación para que ésta fuese coherente con el modelo de evaluación que hemos intentado fundamentar.*

Es posible referirse, entre otras, a las siguientes (dadas en orden aleatorio):

- ✓ La calificación debe ser una estimación de los logros de cada estudiante, una indicación de su grado de consecución. No puede tener una función comparativa en la que la valoración de cada uno depende de los resultados obtenidos por los demás, atendiendo a una “norma”. Por el contrario, cada estudiante ha de ser consciente de que una calificación positiva depende fundamentalmente de en qué medida alcance los logros que se persiguen, los cuales han de ser percibidos como ajustados a su edad y alcanzables.
- ✓ Ha de constituir una estimación cualitativa que utilice categorías amplias, apoyada en una diversidad de elementos y justificada con comentarios detallados. Cuanto más amplios sean los tipos de actividades evaluadoras consideradas, tanto más fiable y fácil de consensuar será la calificación.
- ✓ Toda calificación ha de ser presentada como una estimación provisional que ha de ir acompañada de propuestas concretas de actuación para su mejora, explicando al estudiante qué ha de hacer, cómo, en qué aspectos, etc., para lograr una valoración positiva y ayudándole con un seguimiento adecuado.
- ✓ La evaluación tiene como finalidad favorecer unos logros determinados, de forma que el trabajo ha de continuar hasta conseguirlos en el tiempo que haga falta. Incluso si ello implica, en algún caso, continuar los mismos estudios al curso siguiente, conviene presentar esta prolongación como algo positivo, como una adaptación al ritmo que el estudiante lleva en ese momento, con el convencimiento de que así afianzará su preparación para proseguir mejor sus estudios.

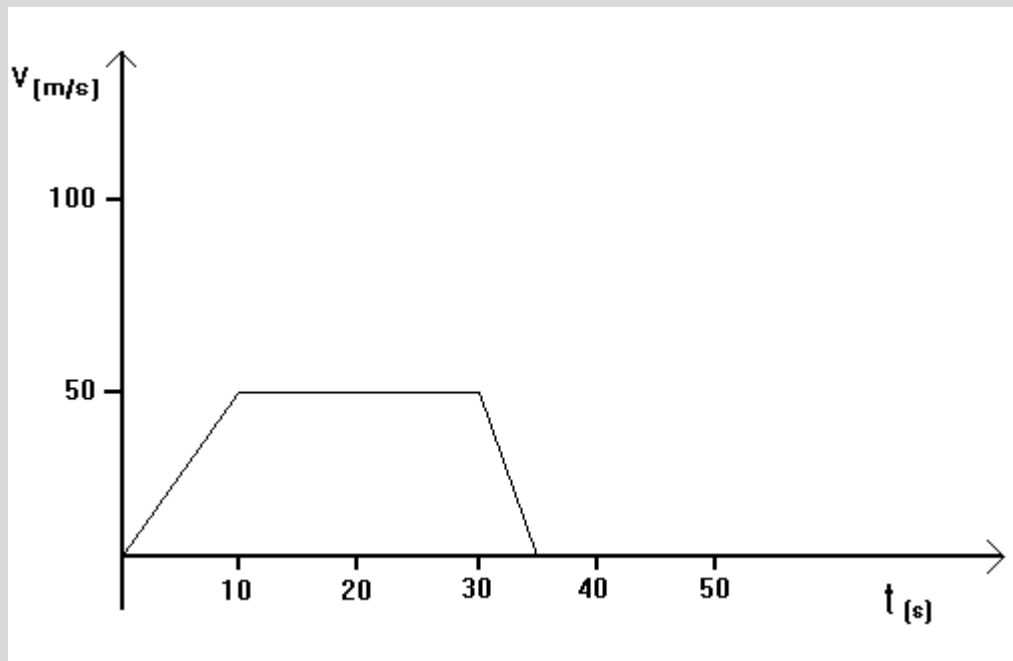
Como es lógico, todas las propuestas que se han intentado fundamentar hasta aquí, adquirirán sentido solo en la medida en que se puedan traducir en actividades concretas a proponer a los alumnos, debidamente integradas en el desarrollo de las unidades didácticas de que consta un curso. No obstante, y a modo de una primera aproximación, conviene detenerse a considerar algunos ejemplos concretos.

## 7. ANÁLISIS DE ALGUNAS ACTIVIDADES CONCRETAS DE EVALUACIÓN

*Analizad críticamente las preguntas de evaluación que se proponen a continuación y proceded a su transformación en otras más acordes con las orientaciones que se han tratado de fundamentar.*

### A. Enunciados de actividades de evaluación habituales

1. Se lanza un cuerpo desde el suelo verticalmente hacia arriba con una rapidez inicial de 20 m/s. Se pide: a) El tiempo que tardará en alcanzar la altura máxima. b) La altura máxima alcanzada. Datos: Se supone el rozamiento despreciable y que el valor (absoluto) de la aceleración de la gravedad es de  $10 \text{ m/s}^2$ .
2. Realiza los siguientes cambios de unidades: a) 108 km/h a m/s; b) 20 m/s a km/h.
3. Un objeto se mueve de acuerdo con la gráfica adjunta. Calcula la aceleración de dicho objeto en cada tramo, explicando qué tipo de movimiento lleva en cada uno.



4. Enuncia el principio de acción y reacción y pon ejemplos.

5. Ley de Boyle de los gases perfectos.

6. Explica en qué consiste sustancia simple, mezcla y compuesto, indicando en qué se diferencian.

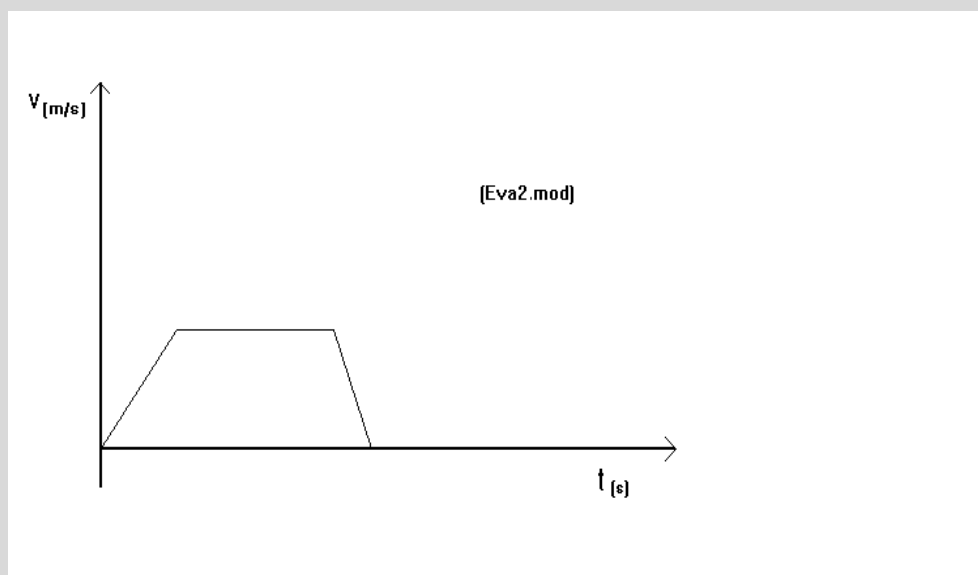
Mediante la actividad anterior se trata no solo de analizar las preguntas señalando sus defectos y carencias con respecto al modelo de evaluación que estamos considerando (primer problema totalmente dirigido, cambios de unidades sin ninguna necesidad, preguntas teóricas que pueden responderse de forma memorística sin garantía de que se haya producido un aprendizaje realmente significativo, gráfica en la que se pueden contestar de forma totalmente mecánica las cuestiones que se plantean, etc.); sino que, además, se pretende que se transformen en otras más coherentes con dicho modelo. A continuación se propone un ejemplo de tales actividades transformadas, el cual se puede comparar con las propuestas que, en su caso, se hayan elaborado.

### B. Enunciados de actividades de evaluación transformadas

1. Se lanza un cuerpo hacia arriba. ¿Qué altura máxima alcanzará?

2. Un ciclista recorrió 35 km en una hora; una moto empleó 5'30 horas en recorrer 350 km; un avión hizo 513 km en 35 minutos y Ben Johnson consiguió (dopándose), recorrer los 100 m lisos en 9'79 s, en las olimpiadas que se celebraron en Seúl. Ordena justificadamente, de mayor a menor, la rapidez media desarrollada en cada caso.

3. Un vehículo se mueve con una rapidez cambiante, tal y como se indica en la gráfica adjunta:



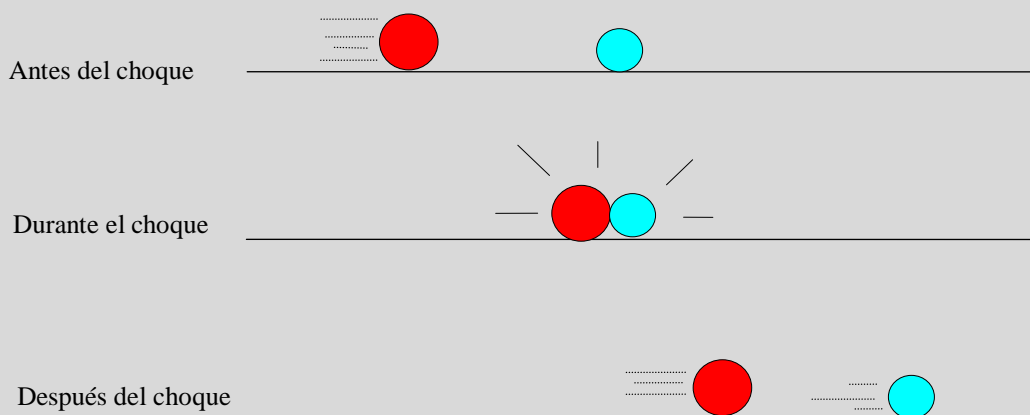


Una persona ha interpretado esta gráfica inventando posibles valores de la posición del vehículo a intervalos de 1 segundo:

t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
e (m)	0	3	6	9	9	9	7	5	3

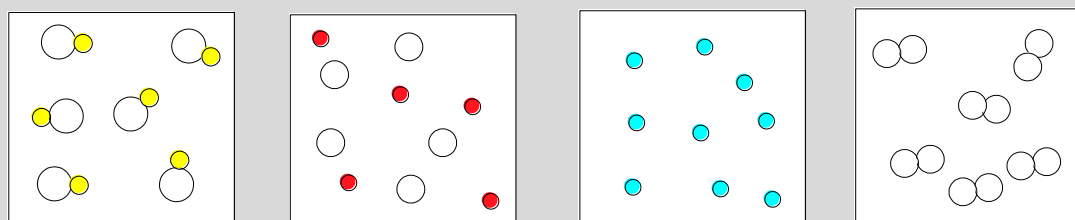
Explica por qué no pueden ser correctos esos valores y a continuación, representa cualitativamente una gráfica  $e = f(t)$  para el movimiento.

4. Dibuja todas las fuerzas de acción y reacción presentes en los tres casos descritos a continuación (bolas sobre una mesa donde se supone todo rozamiento despreciable).



5. Uno de los ejercicios que realizan los buceadores consiste en que, estando a varios metros de profundidad respirando aire comprimido (a la misma presión a la que se encuentran ellos), han de aspirar aire, dejar las botellas en el fondo y subir hasta la superficie. En la instrucción previa a este ejercicio, se les advierte muy seriamente para que no retengan el aire mientras ascienden y que lo vayan expulsando de sus pulmones poco a poco. ¿Puedes explicar la razón de dicha advertencia?

6. Indica para cada una de las porciones de materia representadas en los esquemas, si se trata de una sustancia simple, un compuesto o una mezcla de sustancias.



Las actividades anteriores son similares a las planteadas en la prueba A. Sin embargo, los enunciados transformados permiten evaluar si se han producido o no aprendizajes realmente significativos. En el enunciado 1 se ha cambiado de un problema tradicional a

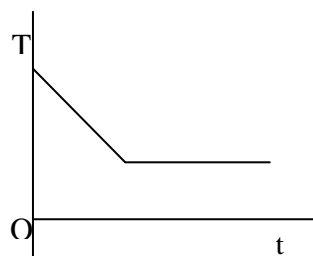
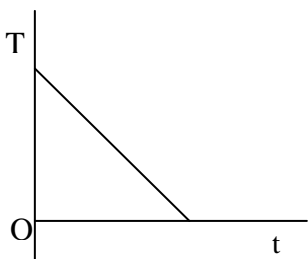
otro planteado como investigación, lo que permite evaluar aspectos esenciales de la metodología científica. En el enunciado 2, se plantean una serie de cambios de unidades pero, esta vez, de forma menos abstracta, sobre ejemplos concretos y con un propósito. En el 3, es preciso interpretar correctamente la gráfica v-t, para percatarse de los movimientos en ella reflejados y no confundir la gráfica con la trayectoria seguida por el móvil. En el 4, no basta con enunciar el principio de acción y reacción sino que hay que utilizarlo para dibujar correctamente las fuerzas que se solicitan, de forma que si no se ha entendido realmente, es posible que se dibuje la fuerza que hace la bola grande sobre la pequeña durante el choque, mayor que la que hace la pequeña sobre la grande o señalar, erróneamente, el peso y la fuerza normal que hace el plano sobre cada bola como parejas de acción-reacción. El enunciado 5, se puede contestar aceptablemente utilizando la ley de Boyle-Mariotte de los gases pero, esta vez, en un contexto de más interés para los alumnos que la simple repetición memorística de la misma, y, finalmente, el enunciado 6 va más allá que limitarse a dar las definiciones de sustancia simple, compuesto y mezcla, permitiendo evaluar si dichos conceptos han sido lo suficientemente comprendidos como para interpretar adecuadamente los esquemas que se proponen.

Como ya se ha visto, aunque el trabajo del profesor, la metodología empleada, la clase de contenidos, el clima del aula y del centro, etc., tienen claras influencias en la actitud de los alumnos hacia la ciencia y su aprendizaje, una clase especialmente importante de actividades con énfasis en aspectos de tipo actitudinal, son las actividades de autorregulación y, en general, todas aquellas en las que se fomente la autoestima y la confianza en sí mismo del alumno. Los enunciados de muchas actividades de evaluación se pueden transformar para lograr este objetivo.

*Analizad las actividades siguientes y transformad sus enunciados de forma que se conviertan en actividades capaces de aumentar la autoestima del alumno y generar unas actitudes más positivas hacia el aprendizaje.*

1. Dibujad cualitativamente cómo cabe esperar que sea la gráfica que representa la variación de la temperatura de un cuerpo caliente que se saca de un horno, con el tiempo.
2. Enumerad las propiedades más importantes de los gases y explicadlas utilizando el modelo cinético-corpúscular.
3. Escribid y ajustad la ecuación química correspondiente a la formación de agua (gas) a partir de hidrógeno y oxígeno gaseosos.
4. Concepto de calor específico.

En la primera actividad (1), se pide la construcción cualitativa de una gráfica. En dicha construcción se suelen cometer varios errores. Los más comunes son los siguientes:



En ambas gráficas la temperatura  $T$ , desciende de manera lineal con el tiempo (sin tener en cuenta que al comienzo, cuando la diferencia de temperaturas entre el objeto y el medio ambiente es mayor, lo hará más rápidamente. Además, en la primera tampoco se tiene en cuenta que la temperatura del objeto solo bajará hasta igualarse con la temperatura del medio ambiente. En cuanto a las otras tres actividades, los enunciados son bastante generales y no conectan con ninguna situación concreta que pueda ofrecer algún tipo de interés para los alumnos.

Los intentos de transformar dichos enunciados, pueden conducir a propuestas como:

**1.** Dibuja cómo cabe esperar que sea la gráfica que representa la variación de la temperatura de un cuerpo caliente que se saca de un horno, con el tiempo (a temperatura ambiente del exterior fija).

Una vez realizado el apartado anterior, solicita al profesor la tabla de valores correspondiente y construye la gráfica, comparándola con la que habías realizado en primer lugar, identificando y corrigiendo los posibles errores que, en su caso, hayas cometido.

La tabla, a suministrar en su momento, podría ser una como la siguiente:

T (°C)	93	65	47	36	30	26	23	22	22	22
t (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**2.** En el mercado existe un modelo de sacacorchos que consiste en una especie de jeringuilla con la que se puede introducir aire dentro de la botella que se quiere descorchar hasta que sale el tapón. Una persona que no ha estudiado el modelo cinético-corpúscular, dice que esto es así porque al ir introduciendo cada vez más aire, llega un momento en que no cabe más y salta el tapón. Explica tú su funcionamiento utilizando lo que has aprendido en clase.



**3.** A un alumno se le pidió que escribiese la ecuación química correspondiente a la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno gaseosos:

Dicho alumno, sin pensarlo demasiado, escribió lo siguiente:  $H_2 + O = H_2O$

Razona por qué dicha ecuación no es correcta y propón otra que la sustituya, explicando su significado.

**4.** Como ya debes saber, el calor específico del agua es bastante elevado en relación a otras sustancias lo que permite, por ejemplo, su utilización en los radiadores de los automóviles. Sin embargo, el calor específico de la tierra, es bastante menor que el del agua. ¿Podrías utilizar esos conocimientos para explicar que, en muchas regiones costeras, el clima suele ser más benigno que en las zonas del interior?

Podemos ver que la primera cuestión se ha convertido en una actividad de autorregulación en la que los alumnos tienen la oportunidad de analizar y, en su caso, rectificar sus respuestas iniciales, aprendiendo de sus propios errores. Las preguntas 2 y 4 han ganado en concreción al conectar los conocimientos implicados con problemas de interés para la mayoría de los alumnos, además en la 4 se relacionan conocimientos de campos distintos (concepto de calor específico con el clima de una región). Finalmente, la pregunta 3 se ha modificado, advirtiendo al alumno que hay un error y que se trata de corregirlo cambiando su papel de ser evaluado por el de evaluador.

*En ocasiones se crítica el hecho de corregir las pruebas de evaluación únicamente calificando cada pregunta con un número y el ejercicio completo con otro. Considerad algunos de los argumentos en que se pueden basar tales críticas y sugerid posibles soluciones concretas.*

Mediante la actividad anterior se puede insistir en la necesidad de incluir indicaciones precisas cuando se corrigen las pruebas, que permitan a los alumnos conocer qué es lo que han hecho bien, así como los fallos y carencias. La utilización de **plantillas específicas** para la corrección de una prueba (elaboradas cuando se diseña dicha prueba), no solo puede favorecer este proceso, sino que además, permite al profesor, centrar la prueba en torno a algunos de los objetivos concretos que se desean conseguir mediante el desarrollo del tema.

En el **anexo 5** se incluye, a título de ejemplo, una prueba de evaluación concreta, junto con la correspondiente plantilla para su corrección. Estas plantillas permiten también relacionar la evaluación con una valoración global (calificación), tal y como se ha discutido en las actividades anteriores. Análogamente, en el **anexo 6**, se incluye un ejemplo de estadillo que se puede utilizar en cada una de las evaluaciones que se realizan periódicamente a lo largo del curso.

*Escoged un tema (unidad didáctica) de un curso determinado de enseñanza secundaria y elaborad una posible prueba de evaluación, así como su correspondiente plantilla o estadillo de corrección, análogamente a como se ha procedido en anexo 5.*

## 8. EVALUACIÓN COMO INSTRUMENTO DE MEJORA DE LA ENSEÑANZA

Aunque la concepción de la evaluación como un instrumento de aprendizaje, sustituyendo a la de juicio terminal sobre los logros de los alumnos, representa un indudable progreso, éste resultaría insuficiente si no se contemplase también como un instrumento de mejora de la enseñanza. En efecto, como sabemos, las disfunciones que se producen en el proceso de enseñanza y aprendizaje no pueden ser atribuidas solo a los alumnos y resultaría difícil evitar que éstos no viesan en la evaluación un ejercicio de poder irracional si lo único que se cuestiona es su actividad. Por tanto, si realmente lo que se pretende es hacer de la evaluación un instrumento de seguimiento y de mejora del proceso, es necesario no olvidar que dicho proceso consiste en una tarea colectiva en la que el papel del profesor y el funcionamiento del centro educativo constituyen factores muy determinantes.

### 8.1 ¿Cómo evaluar el trabajo que realiza el profesor?

Existen, por supuesto, varios sistemas para evaluar el trabajo desarrollado por el profesor en el aula. Entre estos se puede citar, por ejemplo, la conocida triangulación, en la que interviene el profesor, los alumnos y un observador externo, dando cada uno su versión respecto a lo que sucede en la clase. A través de este método, pueden sacarse interesantes conclusiones respecto a lo que el profesor piensa que se debe hacer en clase, lo que piensa que él hace y lo que los demás perciben que hace. Otro método consiste en pasar un cuestionario a los alumnos, en donde se recojan determinados aspectos metodológicos que el profesor debería desarrollar en clase. Puede pensarse que éste método es demasiado subjetivo o poco válido sin embargo, las veces que ha sido ensayado parece funcionar bastante bien. Por otra parte, conviene tener en cuenta que aunque el profesor actúe adecuadamente en determinados aspectos, de poco sirve si los alumnos no se dan cuenta de ello o incluso opinan que no lo hace.

*Reflexionad sobre los contenidos más importantes tratados hasta este momento y a continuación proceder a enumerar, aquellos aspectos más importantes de la actividad del profesor, que convendría someter a la evaluación de los alumnos y/u otros profesores.*

Esta actividad cuando se lleva a cabo dedicándole el tiempo necesario, constituye una excelente ocasión para realizar una síntesis de lo tratado hasta el momento. De esta forma se pueden mencionar aspectos esenciales que se sugerían ya en el primer tema de este proyecto sobre *lo que los profesores de ciencias hemos de saber y saber hacer* y que luego han sido tratados con mayor profundidad al desarrollar los temas siguientes.

Podríamos decir que la **competencia didáctica** del profesor tiene una serie de dimensiones (o sub-competencias) relativas al conocimiento en profundidad de la materia a enseñar (lo que, como ya sabemos, incluye también aspectos históricos y epistemológicos), el cuestionamiento de ideas simplistas (sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje, la evaluación, etc.), la investigación e innovación, el dominio de nuevas tecnologías, la actividad evaluadora, la metodología utilizada para enseñar y otros aspectos como el clima de trabajo en clase, el interés por la materia y los alumnos, la claridad de las explicaciones, etc.

Se trata pues de una actividad que puede funcionar como recapitulación de muchos aspectos importantes que están relacionados con la competencia docente del profesor y a la cual conviene prestar la adecuada atención. Dicha actividad ha sido ensayada en distintos cursos de formación de profesores. En el cuadro siguiente se recogen, en orden aleatorio, algunas de las propuestas más habituales.

#### Evaluación de la competencia didáctica del profesor

**Trata por igual a las alumnas y alumnos.** No hace ninguna distinción por razón de sexo y pregunta a chicos y chicas con la misma frecuencia, valora igualmente sus intervenciones en clase y sus exámenes, les exige lo mismo, no tolera actitudes machistas, etc.

**Conoce y domina la materia que enseña.** Conoce bien los contenidos que imparte y sabe contestar o preparar las respuestas adecuadas a las preguntas de sus alumnos.

**Tiene en cuenta los resultados de la evaluación.** Analiza los resultados obtenidos por los alumnos en su asignatura y se preocupa por introducir todos los cambios necesarios para mejorarlos.

**Tiene comportamientos personales que contribuyen a que se estudie su asignatura más eficazmente y más a gusto.** Se trata de juzgar si presenta por lo menos algunas cualidades como las siguientes: es amable con los alumnos, está abierto a las críticas, tiene sentido del humor, llega puntualmente a clase, inspira confianza, existe coherencia entre el comportamiento que demanda a los demás y el suyo propio, etc.

**Su enseñanza no es solo de contenidos conceptuales,** sino que se centra también en otros igualmente importantes, proponiendo con frecuencia actividades donde se tengan que manejar aspectos esenciales de la metodología científica o las complejas relaciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente.

**Demuestra interés por su materia y por la enseñanza.** Muestra dedicación y entusiasmo por su trabajo, se preocupa por hacer las cosas bien y da la impresión de que le gusta la enseñanza.

**Tiene en cuenta las ideas previas de sus alumnos.** Antes de introducir conceptos o nuevos conocimientos o al plantear algún problema, por ejemplo, se preocupa en general por saber cuáles son las ideas (acertadas o no) que sus alumnos puedan tener respecto al mismo, valora sus opiniones, sus puntos de vista, etc.

**Se prepara bien las sesiones de clase.** Lleva preparado previamente aquello que se va a tratar en clase, notándose que ha reflexionado antes, en general, sobre la mayoría de las actividades que se proponen.

**Sabe crear y mantener un buen ambiente de trabajo en el aula.** En sus clases no se pierde el tiempo y suele haber un clima de trabajo que permite sacar un buen provecho de las mismas.

**Se esfuerza por conocer personalmente al alumnado.** Cuando por ejemplo, alguien no va muy bien, se interesa personalmente en saber qué problemas tiene e intenta animarle y ayudarlo en lo posible, valora positivamente los progresos que se hacen, no ridiculiza a nadie (ni permite que otros lo hagan), respeta a todos los alumnos, etc.

**Hace sus clases activas y participativas.** Durante sus clases no habla solo él o ella, sino que también hace intervenir a los alumnos frecuentemente, proponiéndoles actividades problemáticas de interés en donde exponen y contrastan sus ideas, argumentan, establecen puntos en común, presentan conclusiones, etc.

**Explica con claridad.** Presenta los contenidos y los problemas a tratar de forma lógica y coherente y cuando se expresa suele hacerlo de forma clara y comprensible.

**Utiliza didácticamente la historia de la ciencia.** En la clase se suele manejar la historia de la ciencia para poder, por ejemplo, mostrar cómo se desarrollaron algunos conceptos científicos, obstáculos de todo tipo que hubo que vencer, implicaciones sociales e importancia de algunos descubrimientos científicos ...

**Propone trabajos prácticos como pequeñas investigaciones.** Se realizan al menos algunos trabajos prácticos en donde los alumnos, no se limitan a seguir una serie de instrucciones ya dadas (como en una receta), sino que ellos mismos tienen que emitir hipótesis, sugerir posibles montajes para realizar un experimento, analizar resultados, etc.

**Se asegura de que sus alumnos dominan los conocimientos y habilidades necesarias antes de abordar un tema nuevo o tareas más complejas.** Antes de empezar a estudiar un tema, por ejemplo, si es necesario, dedica algún tiempo a revisar los conocimientos previos imprescindibles para que sus alumnos puedan entender aquello de lo que se va a hablar y tengan confianza en su capacidad para seguir adelante.

**Insiste en que se analicen siempre los resultados.** No se conforma con que sus alumnos enuncien una respuesta a una cuestión o den simplemente los resultados numéricos de los problemas o de los trabajos prácticos, sino que pide que se analicen críticamente, se argumente, se comparen unos con otros, se extraigan conclusiones, etc.

**En su asignatura se sigue un hilo conductor claro.** Intenta que los alumnos conozcan, en todo momento, dónde están y qué es lo que se va a tratar a continuación. El temario a seguir tiene una justificación y no se estudian temas que nada tienen que ver entre sí. Por el contrario todo va progresivamente encajando y se va construyendo un conjunto coherente de conocimientos.

**Tiene en cuenta aspectos sociales de la ciencia.** En sus clases se tratan algunos problemas derivados de las relaciones entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el medio, considerando por ejemplo, las posibles ventajas e inconvenientes que para la sociedad y el medio ambiente, tienen diversos avances científico-tecnológicos y planteando metas colectivas como la construcción de un futuro sostenible.

**Sabe motivar a sus alumnos.** Su comportamiento con los alumnos junto con otros aspectos como la metodología que utiliza en sus clases, la forma de evaluar y calificar, de entrar y tratar los temas que se van a estudiar, etc., hace que los alumnos estén, en general, más interesados, comprendan mejor los contenidos y mejore la percepción que tienen de sí mismos en cuanto a su capacidad para la asignatura.

**Dedica tiempo suficiente para que sus alumnos manejen y asimilen los nuevos conocimientos a medida que estos se van introduciendo.** Los temas se ven a una velocidad razonable, dedicando el tiempo necesario para que los alumnos manejen los conceptos en diversas situaciones, asimilen los nuevos conocimientos, etc.

**Propone actividades de síntesis, recapitulación, etc.** Al terminar el estudio de un tema o de un bloque de temas, no se pasa inmediatamente a otro, sino que suele proponer actividades de revisión, como por ejemplo elaborar esquemas, síntesis, mapas conceptuales, etc.

**Sabe dirigir el trabajo en grupo de sus alumnos.** Los alumnos en clase están distribuidos en pequeños grupos de trabajo y el profesor o profesora dirige su funcionamiento proponiendo las actividades, valorando las intervenciones, orientando, aportando información cuando es necesario, etc.

**Enseña a resolver problemas** insistiendo en que no se hagan operaciones inmediatamente, se justifique (por escrito) lo que se va a hacer y las expresiones a utilizar, se busquen y expongan distintos métodos para resolver un mismo problema, se analicen los resultados obtenidos (viendo por ejemplo, si son lógicos, etc.)...

**Valora todo el trabajo realizado y enseña a guardarlo de forma ordenada.** Se preocupa por que el trabajo realizado no se pierda sino que, por el contrario, todas las actividades que se van realizando se guarden ordenadamente, incluyendo pruebas, prácticas, memorias de actividades “extraescolares”, etc., de modo que pueda volver a utilizarse, repasar, etc.

**Consigue que los alumnos se den cuenta de lo que van aprendiendo.** Propone actividades que les hacen darse cuenta de lo que realmente van aprendiendo y aumentan la confianza en su capacidad para progresar en los conocimientos de la asignatura.

**Sabe despertar nuevos intereses en los alumnos.** Plantea su enseñanza de modo que no solo conecta con muchas de las cosas que les interesan sino que también es capaz de conseguir que se interesen por otros temas nuevos.

**Justifica los contenidos a tratar.** Cuando por ejemplo se comienza a estudiar un tema, se suele esforzar en justificar de alguna forma los contenidos que se van a estudiar a lo largo del mismo y en establecer un hilo conductor entre los distintos apartados.

**Prepara previamente las pruebas o exámenes globales,** dedicando algunas sesiones antes a revisar los contenidos más importantes, resolver posibles dudas, etc.

**Realiza una corrección pública de los exámenes.** Reparte los exámenes corregidos y comentados a sus alumnos, y dedica alguna sesión a su corrección, señalando los errores más frecuentes, explicando las dudas, el sistema utilizado para valorarlo, etc.

**No ignora a los alumnos que van mal en la asignatura,** sino que por el contrario, se interesa por ellos, les anima a participar y trata de ayudarles para que se pongan al mismo nivel que el resto.

**Es capaz de mostrar las relaciones existentes entre distintos contenidos,** tanto entre los que se van estudiando dentro de la propia asignatura como, en algunos casos, entre estos y los de otras materias.

**Utiliza las nuevas tecnologías.** Realiza algunas actividades como, por ejemplo, ofrecer a sus alumnos la posibilidad de consultar desde su casa las respuestas correctas a una prueba de evaluación y los criterios empleados para valorarla; utilizar ordenadores y sensores electrónicos, para realizar algunas prácticas de laboratorio, construir tablas y gráficos, analizar la fiabilidad de unos resultados, etc.; proponer trabajos de distinto tipo, utilizando internet; manejar el retro-proyector (por ejemplo, exposiciones con power-point); utilizar programas informáticos para simular determinadas prácticas o fenómenos, etc.

...

## 8.2. ¿Cómo evaluar el funcionamiento del centro escolar?

En el tema anterior, ya consideramos qué debía entenderse por un centro escolar eficaz y su influencia en las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje. Tanto en el buen funcionamiento de un centro escolar en general como en el de una clase o grupo de alumnos en particular, la existencia de un buen clima de trabajo, sin graves problemas de disciplina, desempeña un papel fundamental para el aprendizaje.

*¿Cuáles serían los rasgos organizativos más importantes que definen a un centro escolar (o un aula) en donde existe un buen funcionamiento, sin graves problemas de disciplina?*



Entre los rasgos que pueden considerarse se encuentran los siguientes:

- ✓ Las normas son pocas pero resultan claras, conocidas y se aplican continuamente.
- ✓ Esas normas resultan razonables, se refieren a las necesidades de la comunidad escolar y se consideran justas y apropiadas por la mayoría.
- ✓ Están además, sujetas a posibles cambios y transformaciones dependiendo de las nuevas necesidades o problemas que se vayan planteando.
- ✓ El centro dispone de canales claros de comunicación entre alumnos, profesorado y personal no docente.
- ✓ Las decisiones adoptadas por los órganos de dirección (personales y colectivos) no son nunca arbitrarias, sino que se justifican en normas y procedimientos conocidos y aprobados.
- ✓ Siempre que sea posible el centro ofrece oportunidades para debatir democráticamente las cuestiones importantes. Los alumnos y profesores disponen de ocasiones para manifestar sus opiniones y éstas son consideradas con atención por los órganos de dirección.
- ✓ El centro dispone de medios y facilita una enseñanza efectiva en las clases, adaptada a los objetivos educativos planteados en cada caso.
- ✓ El centro dispone de las instalaciones adecuadas para la promoción de actividades culturales, deportivas y recreativas, consideradas todas ellas como parte integrante de la vida escolar.
- ✓ El centro mantiene lazos estrechos de colaboración con la comunidad local, incluyendo a los padres, impulsando a participar en la vida escolar.
- ✓ Existen mecanismos factibles y en funcionamiento para atender a alumnos con necesidades educativas especiales.
- ✓ Los alumnos reciben información clara respecto a temas que afectan a decisiones académicas o vocacionales, como las que se refieren a opciones entre distintas materias, elección de estudios, preparación para entrevistas y solicitudes de empleo, etc.
- ✓ Existe un sistema eficaz para el tratamiento y orientación de los alumnos particulares que plantean problemas de conducta y convivencia con los demás.
- ...

*Elaborad un resumen en el que se recojan las orientaciones que se consideren más importantes para convertir la evaluación en un instrumento capaz de incidir positivamente en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.*

Entre otras, cabe tener en cuenta las siguientes:

- ✓ Siempre que los alumnos tienen oportunidad de expresar lo que piensan, confrontar sus ideas, escuchar las intervenciones de otros en relación a una necesidad previamente planteada, ..., se está evaluando.
- ✓ Solo se puede evaluar adecuadamente si se ha preparado el tema adecuadamente.
- ✓ Debe existir un modelo de cómo se produce el aprendizaje de los alumnos: un itinerario de aprendizaje y de obstáculos asociados. El sistema de evaluación ha de estar integrado en el tema desde el principio, para impulsar el aprendizaje y ayudar a recorrer el itinerario previsto.
- ✓ Realizar resúmenes y recapitulaciones frecuentes (la estructura de los cursos y temas como problemas favorece la evaluación/ recapitulación de lo avanzado).

## 8. La evaluación

---

- ✓ Fomentar que los alumnos aprecien sus avances y aprendan de sus errores, incluso en las mismas pruebas de evaluación.
- ✓ Junto a la secuencia de enseñanza, expresar los objetivos (grandes, no pormenorizados) en términos comprensibles, y darlos a conocer a los alumnos.
- ✓ Valorar en base a criterios, de modo que el alumno sepa en todo momento lo que sabe y lo que no sabe.
- ✓ El trabajo del profesor ha de integrarse en un trabajo colectivo con otros colegas, planificando los temas, identificando metas parciales, un itinerario de aprendizaje y enseñanza, los posibles obstáculos y diseñando la evaluación para apoyar y asegurar un avance firme. Además debe existir coherencia entre la enseñanza (lo que se trata en la clase) y las pruebas de evaluación.

Finalmente, indicar la conveniencia de planificar el curso y los contenidos que lo conforman (estructurados en temas o unidades didácticas) de forma que la enseñanza de dichos contenidos tenga sentido, justificando qué se va a estudiar y por qué, cómo se va a desarrollar el tema de estudio... y recapitulando los avances conseguidos. Solo así, la evaluación tendrá también sentido. Una buena estrategia para conseguirlo es elaborar una estructura problematizada para los cursos y sus contenidos. En el tema siguiente, nos plantearemos cómo hacerlo.

### Referencias bibliográficas

- ALONSO, M. (1994). *La evaluación en Física como instrumento de aprendizaje*. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.
- ALONSO, M., GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992). Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación: obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento. *Revista española de física*. 5 (2), pp. 18-38
- ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1995a). Concepciones docentes sobre la evaluación en ciencias. *Alambique*, 4, pp. 6-15.
- ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1995b). Actividades de evaluación coherentes con una propuesta de enseñanza de la física y química como investigación: actividades de autorregulación y de interregulación. *Revista de Enseñanza de la Física*. 8(2), pp. 5-20.
- ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, pp. 15-26.
- AUSUBEL D.P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- BAIRD, J.R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition: A classroom study. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 263-282.
- CARRASCOSA, J., FERNANDEZ, I., GIL, D. y OROZCO, A. (1991). La visión de los alumnos sobre lo que el profesorado de ciencias ha de saber y saber hacer. *Investigación en la Escuela*. 14, PP. 45-64.
- DEL CARMEN, L.M. (1995). Presentación del número monográfico sobre evaluación. La evaluación de los aprendizajes. *Alambique*, 4.
- FRASER, B.J. (1994). Research on classroom and school climate. En Gabel, D.L. (Ed.). *Handbook of research on Science Teaching and Learning*. New York: McMillan. Pub. Co.
- GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005). ¿Para qué y cómo evaluar? Capítulo 8, pp. 159-180, en *¿Cómo Promover el interés por la cultura científica?* Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: OREALC/UNESCO. <http://www.oei.es/decada/139003S.pdf>
- GIMENO, J. (1983). El profesor como investigador en el aula: un paradigma de formación de profesores, *Educación y Sociedad*, 2.
- HODSON, D. (1986a). The role of assessment in the “Curriculum Cycle”: a survey of science department practice. *Research in Science and Technological Education*, 4 (1), pp. 7-17.
- HODSON, D. (1986b). Evaluator’s perspective, in Sutton, R (Ed). *Assessment in Secondary Schools: The Manchester experience*. (Harlow, Longman/Schools Council).
- HODSON, D. (1992). Assessment of practical work. Some considerations in philosophy of Science. *Science and Education*, 1 (2), pp. 115-144.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Facer Escola. Biblioteca didáctica. Galicia: Edicións Xerais de Galicia.
- LINN, M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (3), 191-216.
- NOVAK, J.D y GOWIN, B. (1988). *Aprendiendo a aprender* (M. Roca: Barcelona)
- NOVAK, J.D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.
- SANMARTÍ, N., SIMÓN, M., y MÁRQUEZ, C. (2006). La evaluación como proceso de autorregulación; diez años después. *Alambique*, 48, pp. 32-41.
- SANMARTÍ, N., y JORBA, J. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4, pp. 59-77.
- SATTERLY, D y SWAM, N. (1988). Los exámenes referidos al concepto y al criterio de ciencias: un nuevo sistema de evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 278-284.
- TAMIR, P. (1998). Assessment and evaluation in science education: opportunities to learn and outcomes. En Fraser, B.J y Tobin, K.G. (Eds.). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.
- YAGER, R.E y PENICK, J.E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, (5), 463-459.

## ANEXO 1. LA IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN

Desde hace ya mucho tiempo y desde, prácticamente, todos los planteamientos, se reconoce la gran importancia de la evaluación en el proceso educativo en general y en la enseñanza de las ciencias en particular. A modo de ejemplo, se reproducen algunas citas clásicas sobre este asunto.

- ✓ La medición y la evaluación son centrales para nuestro concepto de aprendizaje (Ausubel, 1978).
- ✓ Dentro de una concepción sistémica de la enseñanza, la evaluación cumple un papel insustituible (Gimeno, 1983).
- ✓ Las estrategias de evaluación tienen un gran potencial para mejorar el aprendizaje (Baird, 1986).
- ✓ En la evaluación, más que en ninguna otra actividad, se muestra con total claridad, aquello a lo que realmente se le da más importancia.
- ✓ Las innovaciones curriculares acaban vaciándose si no van acompañadas de innovaciones similares en la evaluación (Linn, 1987).
- ✓ Cada vez más, los procesos de evaluación se consideran aspectos esenciales del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias (Satterly y Swann, 1988).
- ✓ La evaluación de los aprendizajes que realizan alumnos y alumnas es una de las preocupaciones básicas de cualquier docente (Del Carmen, 1995).

Así mismo, parece evidente que su papel debe ser establecido teniendo en cuenta los conocimientos sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias:

- ✓ Nos parece que podemos estar en el umbral de una nueva era en la evaluación del potencial y aprovechamiento humanos, no porque se puedan diseñar mejores tests de inteligencia o mejores pruebas de aprovechamiento, sino porque estamos desarrollando un nuevo marco conceptual desde el cual se pueden enfocar la naturaleza y los problemas de evaluación de las aptitudes y habilidades humanas (Novak, 1988).
- ✓ Necesitamos exámenes innovadores que sirvan para ayudar a los alumnos a autorregular su propio aprendizaje (Linn, 1987).
- ✓ Si creemos que uno de los objetivos de la enseñanza es conseguir el cambio conceptual de las ideas previas a un punto de vista más acorde con las teorías científicas, la evaluación deberá de estar orientada hacia ese cambio.
- ✓ Se concibe un papel más productivo para la evaluación: la motivación de los alumnos a través del establecimiento de objetivos claros, el diagnóstico de las dificultades de aprendizaje y la identificación de los errores conceptuales, así como la evaluación del proceso de enseñanza (Satterly y Swan, 1988).
- ✓ Hoy se reconoce ampliamente que los métodos de evaluación usados por los profesores pueden afectar profundamente no solo a la calidad y cantidad del aprendizaje sino también a sus características afectivas: sus intereses y actitudes hacia las ciencias y su aprendizaje (Satterly y Swann, 1988).
- ✓ Se observa una tendencia a valorar la evaluación formativa y la evaluación en relación a criterios y a investigar nuevas formas de evaluación de los procedimientos y de las actitudes.
- ✓ Creemos que la evaluación educativa puede mejorarse si tomamos conciencia de nuestra comprensión sobre la forma en que los seres humanos crean y valoran el conocimiento y de los procesos psicológicos por los que llegan a comprender tal conocimiento (Novak, 1988).

## ANEXO 2. LA EVALUACIÓN TRADICIONAL Y DIFICULTADES PARA MODIFICARLA

*Investigadores de todas las tendencias coinciden en caracterizar la evaluación habitual, mostrando sus deficiencias y su estrecha relación con el modelo de enseñanza tradicional:*

- ✓ Gran parte de la oposición pasada y actual en contra del movimiento de evaluación en la educación, constituye una reacción a la tendencia de muchas pruebas a medir los aspectos más triviales del aprendizaje de las materias, a enfatizar el aprendizaje repetitivo a corto plazo y a considerar las puntuaciones obtenidas en las pruebas “per se” como más importantes que los conocimientos que supuestamente representan (Ausubel, 1978).
- ✓ El concepto de evaluación es uno de los que más ha sufrido en nuestro contexto cultural y académico los rigores de la estrechez positivista (Gimeno, 1983).
- ✓ Las características de la evaluación tradicional son: a) **final**, en el sentido de que se realiza cuando se ha cumplido la totalidad (o una parte importante) del contenido de la materia, b) **discontinua**, en el sentido de que aparece como una interrupción del proceso de enseñanza-aprendizaje y c) esencialmente **calificadora** del alumno.
- ✓ Los procedimientos de evaluación ponen el acento en puntuar y clasificar a los alumnos, pero frecuentemente adolecen de muchas de las metas educativas que los profesores reivindican y valoran, ofreciendo poca información con la que adoptar decisiones sobre el currículo (Hodson, 1986 a).
- ✓ La evaluación habitual se concibe para el sistema educativo más que para los alumnos... se concentra en los objetivos académicos con el consecuente olvido de aspectos no cognitivos... sobreestima métodos evaluadores limitados (usualmente preguntas de elección múltiple y ejercicios), mientras devalúa otras destrezas, inhibe el desarrollo y orienta el método de enseñanza... pone énfasis en asignar grados o calificaciones sin reconocer ni reforzar los avances de los menos capaces... (Hodson, 1986 b).
- ✓ Este modelo de instrucción y evaluación correcto-incorrecto, verdadero-falso, etc., justifica el modo de aprendizaje repetitivo y, a menudo, penaliza el aprendizaje significativo (Novak y Gowing, 1988).

*Y, a pesar de que esta forma de evaluar es ampliamente rechazada por alumnos y profesores,*

- ✓ La actitud favorable de los alumnos hacia las ciencias, su interés por ellas, decrece a lo largo del periodo de escolarización. Entre los aspectos que influyen en este hecho, está el tipo de evaluación, centrado en exámenes, con gran énfasis en contenidos meramente conceptuales (Yager y Penick, 1983).
- ✓ Los profesores se sienten insatisfechos de la evaluación por acumulación, es decir, de los exámenes a final de curso o ciclo formativo para clasificar a los alumnos por orden de logros (Satterly y Swann 1988).
- ✓ Entre los profesores de ciencias existe consenso en considerar que la evaluación no debe limitarse a medir metas triviales, más concretamente, los profesores no aceptan que las pruebas. a) solo se refieran a aspectos memorísticos, b) no sirvan para evaluar destrezas intelectuales (Hodson, 1986 a).

*parece existir cierta desorientación por parte de los segundos y dificultades para cambiar esta práctica evaluadora habitual:*

- ✓ La razón de la no evaluación de trabajos prácticos y actitudes es que los profesores consideran que este tipo de evaluación es difícil, llevará mucho tiempo y será excesivamente costosa (Hodson, 1986 a).
- ✓ Los profesores se encuentran indecisos sobre si los exámenes deben ser analizados con respecto a una norma, a un criterio o a una referencia propia (Hodson, 1986 a).
- ✓ Muy pocos departamentos de ciencias realizan una evaluación sistemática y detallada. Este tema, a menudo, es abordado de modo intuitivo e irracional como por ejemplo: discusiones sobre el estilo de las preguntas a utilizar (de elección múltiple, abiertas, entrevistas, etc.) preceden a una reflexión sobre el propósito de la evaluación (Hodson, 1986 b).

### ANEXO 3. PRÁCTICA DE LA EVALUACIÓN

*Este anexo consta en realidad de dos documentos idénticos excepto en lo que se dice en el primer párrafo. A continuación se reproducen ambos:*

El ejercicio que se reproduce a continuación corresponde, como podrás constatar, a un alumno bastante brillante. ¿Qué comentarios le harías (si lo crees conveniente) para ayudarle a mejorar más en su comprensión? Indica igualmente la calificación (entre 0 y 10) que piensas corresponde a este ejercicio.

(Esta calificación no está destinada a serle comunicada al alumno, sino a ser comentada con otros profesores).

**Cuestión propuesta al alumno:**

*Explica brevemente el concepto de trabajo hasta llegar a una primera definición operativa.*

**Respuesta del alumno:**

Podemos decir que se hace trabajo cuando se hace algo, es decir, cuando se transforman las cosas mediante fuerzas como, por ejemplo, el arar un campo (en donde se transforma la tierra dura en blanda y esponjosa), etc.

Los trabajos pueden ser muy complicados y difíciles de medir (como el que hace un científico) pero nosotros consideraremos solo los casos más simples en los que los cambios se reducen al desplazamiento de objetos. En este caso la transformación viene dada por el desplazamiento y podemos expresar el trabajo como:

$$W = F \cdot D$$

en donde D es la distancia que se ha desplazado el objeto y F la fuerza que actúa en la dirección del movimiento, o la componente de la fuerza en dicha dirección"

**Calificación:**

**Comentarios:**

El ejercicio que se reproduce a continuación corresponde, como podrás constatar, a un alumno que no va muy bien. ¿Qué comentarios le harías (si lo crees conveniente) para ayudarlo a mejorar más en su comprensión? Indica igualmente la calificación (entre 0 y 10) que piensas corresponde a este ejercicio.

(Esta calificación no está destinada a serle comunicada al alumno, sino a ser comentada con otros profesores).

**Cuestión propuesta al alumno:**

*Explica brevemente el concepto de trabajo hasta llegar a una primera definición operativa.*

**Respuesta del alumno:**

Podemos decir que se hace trabajo cuando se hace algo, es decir, cuando se transforman las cosas mediante fuerzas como, por ejemplo, el arar un campo (en donde se transforma la tierra dura en blanda y esponjosa), etc.

Los trabajos pueden ser muy complicados y difíciles de medir (como el que hace un científico) pero nosotros consideraremos solo los casos más simples en los que los cambios se reducen al desplazamiento de objetos. En este caso la transformación viene dada por el desplazamiento y podemos expresar el trabajo como:

$$W = F \cdot D$$

en donde D es la distancia que se ha desplazado el objeto y F la fuerza que actúa en la dirección del movimiento, o la componente de la fuerza en dicha dirección"

**Calificación:**

**Comentarios:**



## ANEXO 4. LAS ACTIVIDADES DE AUTORREGULACIÓN

En la investigación educativa existe desde hace décadas, un elevado consenso en reconocer la gran importancia de fomentar en los alumnos la capacidad de regular sus propios procesos de aprendizaje, así como el papel destacado de la evaluación en este objetivo. Una buena muestra de ello, son parte de las conclusiones del congreso que en enero de 1986 reunió en la Universidad de Berkeley a matemáticos, científicos, investigadores en la enseñanza de las ciencias y de la matemática y expertos en teoría curricular (algunas de las cuales reproducimos a continuación). No obstante, no podemos decir que se haya avanzado mucho en este aspecto desde entonces y su puesta en práctica efectiva en actividades de evaluación, continua siendo algo bastante desconocido para una gran mayoría del profesorado.

- ✓ Existe un consenso creciente entre las investigaciones de psicólogos, antropólogos, filósofos y educadores, en afirmar que los alumnos construyen una visión de sí mismos de igual forma que construyen sus ideas sobre fenómenos naturales. Dicha visión se refleja en su propia autoestima, autoconfianza, autonomía y su propio sentido de la competencia. Ello afecta a cómo corrigen y regulan su propio aprendizaje, y determina su motivación y su esfuerzo personal.
- ✓ La sensación que de sí mismos tienen los alumnos, gobierna sus opciones y por tanto sus oportunidades educativas. Por ejemplo, estudiantes que se crean incapaces en ciencias, evitarán experiencias en este campo, ya que podrían poner de manifiesto sus carencias.
- ✓ El éxito de los alumnos en el desarrollo de un punto de vista positivo de sí mismos y su capacidad de autorregulación, depende de la situación de aprendizaje. Desgraciadamente, la mayoría de ellos raramente son motivados en ciencias. Sin embargo, a no ser que se sientan realmente implicados en su propio proceso de aprendizaje y con responsabilidad para abordar problemas, no construirán una teoría sobre su propio aprendizaje y no conseguirán una situación de feed-back con sus propios procesos de regulación.
- ✓ Los factores relativos a la motivación de los alumnos son hoy mejor entendidos que lo eran hace una década y deberíamos incorporarlos en el currículo.
- ✓ Por ejemplo, un alumno podría limitarse a interpretar sus errores meramente como evidencia de fracaso, mientras que otro, podría aprender de los mismos dándose cuenta de la valiosa información que de su análisis puede obtener para resolver el próximo problema.
- ✓ Se requieren exámenes innovadores que sirvan para evaluar la capacidad de autorregulación de los alumnos.
- ✓ La visión de la evaluación como proceso de autorregulación comporta una redefinición radical de la función del error en el aprendizaje. De ser algo negativo, a disimular u ocultar, se convierte en el medio más importante para aprender y, por tanto, algo a verbalizar, discutir, revisar... sin miedo. Einstein ya decía que su tiempo lo empleaba fundamentalmente en la detección y superación de los errores que cometía al resolver problemas....

## ANEXO 5. PRUEBAS Y ESTADILLOS DE EVALUACIÓN

Un estadillo de evaluación es un instrumento que puede ser usado para la corrección de pruebas, diseñado de forma que el alumno pueda disponer de una información básica sobre qué es lo que ha hecho bien y cuáles han sido sus fallos, carencias, etc.

Dicho estadillo cumplimentado por el profesor, se puede entregar a cada alumno junto con el examen o prueba correspondiente, antes de proceder a su corrección pública en clase. También se puede colocar en la página Web del centro, junto con las respuestas consideradas correctas, para que cualquier alumno pueda acceder a estos documentos fácilmente.

A título de ejemplo, se propone a continuación una posible prueba de evaluación y su estadillo correspondiente:

### EJEMPLO DE UNA PRUEBA DE EVALUACION

La prueba que se propone a continuación puede ser utilizada una vez acabado el tema de “Propiedades generales de la materia” (alumnos entre 14 y 15 años), como prueba global del mismo. Cada pregunta se acompaña de unos breves comentarios sobre la misma.

*1. Se calienta una barra metálica hasta conseguir que se dilate apreciablemente. Indica razonadamente algunas propiedades de la barra que se modifiquen en esta transformación y cómo lo hacen, y otras que no se modifiquen.*

Actividad de utilización de conceptos en una situación no similar a las vistas en el desarrollo del tema.

*2. Una persona dice que el peso es una propiedad característica de la materia, ya que 5 kg de patatas son siempre 5 kg de patatas. Explica hasta qué punto estás de acuerdo con esta afirmación y corrige lo que creas conveniente.*

Manejo de los conceptos de masa y peso en una situación cotidiana en la que no se profundiza lo suficiente como para distinguirlos. Las críticas realizadas a esta afirmación supondrán un índice claro de los avances conseguidos en la clarificación de estos dos importantes conceptos.

*3. Se dispone de una sustancia sólida desconocida. Explica con detalle qué experiencias, mediciones, etc., podrían realizarse para determinar la densidad de dicha sustancia y comenta el interés que puede tener conocer este dato.*

Ejercicio global en donde, a nivel cualitativo, hay que utilizar muchos de los conceptos tratados en el tema, como masa, peso y volumen.

*4. Un globo lleno de gas helio, asciende rápidamente cuando se suelta en la superficie de la Tierra, mientras que el mismo globo desciende cuando se suelta en la superficie de la Luna y ello a pesar de que en la Luna los objetos pesan unas seis veces menos que en la Tierra. Da una explicación científica adecuada de este hecho.*

Se incide en el manejo del concepto de peso y en la barrera que supone la creencia de que los gases no pesan.

*5. En algunas montañas rocosas es usual que llueva frecuentemente y que por la noche la temperatura disminuya hasta alcanzar valores por debajo de 0 °C. Explica qué puede tener que ver esto con el hecho de que en las laderas de dichas montañas exista una gran cantidad de trozos de roca sueltos (canchales o pedreras).*

Se trata de una actividad interdisciplinar, en donde se plantea la relación de alguno de los conocimientos que se están construyendo, con el medio natural (relación ciencia-medio), planteada de forma que se favorece la emisión de hipótesis y un aprendizaje más significativo.

*6. El oro es una sustancia de diferente densidad que el plomo. Dibuja cualitativamente, en un mismo diagrama masa-volumen y utilizando distinto color, las gráficas de la masa en función del volumen para ambas sustancias (en las mismas condiciones de presión y temperatura).*

*Una vez realizado el apartado anterior. Los valores medidos de masa y volumen para cada una de las sustancias indicadas son los siguientes: (El profesor proporcionará dos tablas de valores, una vez que los alumnos hayan resuelto el apartado anterior).*

*Representa las gráficas reales, explicándolas con detalle, y compáralas con las que se habías hecho en primer lugar de forma cualitativa, comentando posibles errores. Finalmente calcula la masa en kg de 1 dm<sup>3</sup> de oro y de 1 dm<sup>3</sup> de plomo, comentando los resultados.*

Actividad de autorregulación, en donde puede manifestarse la creencia de algunos alumnos de que el plomo es la sustancia más pesada de todas. La actividad permite también un tratamiento cuantitativo de los conceptos introducidos y un análisis de los resultados obtenidos.

### **EJEMPLO DE ESTADILLO EVALUADOR PARA LA PRUEBA ANTERIOR**

El estadillo que se propone a continuación es susceptible de una evaluación cualitativa (basta con indicar Si o No a continuación de cada apartado en cada una de las preguntas) y también de una calificación (puntuando cada apartado), pero, en cualquier caso, es una forma de corrección coherente con el concepto de evaluación que se ha tratado de fundamentar y que, entre otras cosas, permite que el alumno se de cuenta de los logros conseguidos (respecto a los objetivos planteados en el tema) y de cuáles son los aspectos que debe revisar.

#### **Pregunta 1.**

- a) Indica el volumen y la densidad como propiedades que se modifican.
- b) Indica la masa y el peso como propiedades que no se modifican.
- c) Señala adecuadamente cómo se modifican las propiedades anteriores (volumen aumenta y densidad disminuye).

**Pregunta 2.**

a) Critica la afirmación realizada utilizando bien la distinción entre masa y peso.

**Pregunta 3.**

a) Utiliza adecuadamente el concepto de densidad, señalando una forma aceptable de obtener la masa y otra de obtener el volumen, dividiendo a continuación entre las dos.

b) Realiza los razonamientos anteriores pero, además, se refiere a la conveniencia de tomar distintos valores de la masa y sus correspondientes volúmenes, mantener la temperatura constante durante el proceso y proceder a la representación gráfica y obtención de la pendiente de la recta obtenida.

c) Señala, al menos, alguna razón posible acerca del interés en determinar la densidad (análisis de un posible material valioso, de una sustancia tóxica, de la presencia de una sustancia prohibida en un alimento, realización de un control de calidad, etc.).

**Pregunta 4.**

Utiliza en la explicación el concepto de peso y de densidad para argumentar que en el caso de la Tierra, al existir un mar de aire, los gases menos densos que él se elevan; mientras que en la Luna (donde prácticamente no hay atmósfera), aunque todos los objetos pesen mucho menos que en la Tierra, caigan al suelo.

**Pregunta 5.**

Utiliza adecuadamente el fenómeno de la dilatación anómala del agua para explicar que al helarse por la noche el agua de lluvia existente en las grietas de las rocas, el volumen aumente y se provoque su disgregación.

**Pregunta 6.**

a) Representa correctamente las gráficas cualitativas (aunque la pendiente correspondiente al oro sea menor que la del plomo).

b) Representa correctamente los valores cuantitativos y es capaz (en su caso) de darse cuenta de posibles errores cometidos anteriormente (como dibujar la pendiente correspondiente al plomo mayor que la del oro).

c) Sabe calcular correctamente la masa requerida de plomo y de oro comparando los resultados obtenidos.

**Observaciones:**

## ANEXO 6. ALGUNOS ASPECTOS SUSCEPTIBLES DE SER EVALUADOS

Alumno(a): -----Grupo ----- Curso -----

(E=Excelente; B=Bien; A=Aceptable; I=Insuficiente; N=Nada o muy poco. Valoración global en 2ª columna)

*Ejemplo de propuesta para evaluar la competencia científico-tecnológica atendiendo a las cuatro dimensiones (o sub-competencias) consideradas que la integran. Analizadla y, en su caso, completad los aspectos considerados en cada tabla incluyendo otros nuevos.*

### 1. Dimensión conceptual

a	Supera las principales ideas alternativas sobre las que se ha intentado incidir		
b	Conoce el campo de validez de las expresiones (leyes, principios, ecuaciones) básicas más utilizadas		
c	Maneja bien los conceptos y expresiones introducidos, para resolver problemas, ejercicios, etc.		
d	Comprende el significado de los conceptos básicos tratados		
e	Comprende el significado de las unidades de medida más importantes utilizadas		
...			

### 2. Dimensión procedimental

a	Aplica estrategias coherentes con metodología cient., (emisión hipótesis, diseños, análisis rdos., etc.)		
b	Construye, interpreta y/o utiliza bien, sistemas de notación: tablas, gráficas, fórmulas y unidades		
c	Maneja la bibliografía propuesta (libro de texto, documentos extra, revistas, apuntes de clase, etc.)		
d	Lleva al día la libreta de clase recogiendo de forma clara los distintos contenidos que se le piden		
e	Aplica correctamente las matemáticas necesarias en la resolución de problemas y ejercicios básicos		
f	Presenta adecuadamente las memorias de los distintos trabajos prácticos realizados		
g	Maneja adecuadamente las nuevas tecnologías		
...			

### 3. Dimensión epistemológica

a	Aplica conocimientos científicos tratados para explicar funcionamiento de algunos aparatos sencillos		
b	Se implica en acciones propuestas para avanzar en la transición hacia la sostenibilidad		
c	Supera algunas ideas simplistas sobre la ciencia (trabajo individual, genios, actividad masculina, etc.)		
d	Trata respetuosamente el entorno en el que se mueve		
...			

### 4. Dimensión actitudinal

a	Actitud positiva e interés respecto a los contenidos científicos tratados		
b	Realiza trabajos extras propuestos a lo largo del curso		
c	Participa activamente en las tareas que se proponen para realizar durante la hora de clase		
d	Participa activamente en actividades “extraescolares” realizadas (visitas, ferias científicas, murales, etc.)		
e	Sabe trabajar en grupo		
f	Sigue con atención el desarrollo de la clase		
g	Pregunta aquello que no entiende		
h	Se centra en las tareas propuestas en clase e intenta acabarlas		
i	Mantiene relación respetuosa con sus compañeros y el profesor		
j	Acaba las distintas tareas propuestas en el plazo prefijado para ello		
...			

### 5. Valoración en pruebas globales

a			
b			
...			

8. La evaluación \_\_\_\_\_

**6. Valoración en otros tipos de pruebas (memorias, pequeños ejercicios, trabajos extra, etc.)**

a			
b			
c			
d			
e			
...			

**Detalle de cómo se obtiene la calificación global:**

**7. Calificación global:**

**8. Dificultades más importantes observadas durante el proceso de aprendizaje:**

**7. Medidas educativas propuestas:**

## 9. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE TEMAS Y CURSOS

En la primera parte de este libro expresábamos y fundamentábamos la necesidad de acercar la actividad del aula a las características del trabajo científico, de manera que el aprendizaje de las ciencias se desarrolle en un contexto de “inmersión en la cultura científica”. También hemos analizado las visiones deformadas de la ciencia habitualmente transmitidas por la enseñanza y medios de comunicación y presentado una serie de aspectos que deberían estar presentes en un currículo para favorecer la construcción de conocimientos científicos. Concretamente, hemos visto que es posible transformar las actividades que habitualmente se realizan en la enseñanza de las ciencias (trabajos prácticos, resolución de problemas de papel y lápiz e introducción de conceptos) en actividades coherentes (dentro de lo que es factible en un contexto escolar) con el modo en que se producen los conocimientos científicos y llevar a cabo una evaluación que apoye e impulse dicho trabajo. En este capítulo vamos a analizar por qué y cómo organizar los distintos temas a enseñar en torno a problemas.

### **¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

- ¿Cómo diseñar los contenidos de cada tema (o incluso de un curso completo), de forma coherente con el modelo de aprendizaje como investigación orientada, para favorecer el interés de los estudiantes hacia la ciencia, su participación en la construcción de los conocimientos y, en definitiva, su inmersión en una cultura científica?
- ¿Qué problemas de interés utilizar como problemas "estructurantes" para el desarrollo del curso y de cada tema?
- ¿Qué secuencia de actividades concretas diseñar, considerando las metas a alcanzar y los obstáculos previsibles (teniendo en cuenta la investigación al respecto)?

Para poder responder a las preguntas anteriores conviene que nos detengamos antes en analizar la forma en que se suelen estructurar los temas en la enseñanza habitual, para así poder considerar los cambios que conviene introducir:

*Analizad críticamente la estructura que suele darse a los temas en la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados.*

En primer lugar, debemos llamar la atención sobre el carácter generalmente "aprobemático" del comienzo de los temas, que se pone de manifiesto tanto en el título como en la introducción y primeros apartados, tal como suelen presentarse en muchos de los libros de texto utilizados por una gran mayoría de profesores y alumnos.

En efecto, los títulos habituales suelen ser meros nombres/etiqueta de aquello que se va a transmitir: cinemática, metabolismo celular, óptica geométrica, estructura corpuscular de la materia, enlace químico... y, en la introducción del tema, dichos títulos a menudo “se explican” con definiciones tales como “es la parte de la física que estudia el movimiento”; “conjunto de reacciones que ocurren en el interior de la célula”; “estudio del comportamiento de la luz cuando se puede ignorar su naturaleza ondulatoria”, etc.

Dicha introducción, que en algunos casos incluye unos breves párrafos acerca de la importancia del tema, o una indicación de lo que al final deberán saber los alumnos, da paso a una secuencia de apartados que suele comenzar con la definición de los conceptos y/o modelos que se van a utilizar, de una manera segura y acabada. La lógica que subyace en la secuenciación de contenidos es solo comprensible para quien ya conoce el tema: se trata de dar antes a todos los alumnos lo que solo el profesor sabe que se va a necesitar después con lo que estos se encuentran inmersos en una secuenciación que les resulta arbitraria, al no ser partícipes de ningún plan. Los datos de recientes investigaciones confirman que la gran mayoría de los alumnos, en cualquier momento del desarrollo de un tema, no saben para qué se está haciendo lo que se hace, cuánto se ha avanzado, ni qué va a venir a continuación (qué se busca). En consecuencia, difícilmente pueden sentirse motivados hacia su estudio.

Otro de los aspectos característicos de la estructura de los temas en la enseñanza por transmisión de conocimientos, es la separación entre el estudio de conceptos y modelos (la “teoría”, en terminología convencional), las “prácticas” y los “problemas”. Ya hemos visto que las “prácticas”, con frecuencia, son ilustraciones de lo tratado previamente en la “teoría” (mostrar, por ejemplo, cómo una ley que ya se ha explicado se cumple realmente) y los problemas de lápiz y papel son planteados como si fueran simples ejercicios de aplicación de la teoría. Hay que tener en cuenta que la orientación del aprendizaje como una investigación dirigida priva de sentido a esta separación que, conviene notar, no guarda paralelismo alguno con la actividad científica real. En la medida en que pretendamos proporcionar a los estudiantes una visión correcta del trabajo científico, el tratamiento por separado de aspectos claves (“la teoría”, “las prácticas” y “los problemas”) que en la actividad científica aparecen absolutamente imbricados, se convierte en un factor distorsionante, es decir, en un obstáculo. Hemos de reconocer, sin embargo, que esta elemental consideración no ha bastado para rechazar claramente esta compartimentación de la actividad escolar. Afortunadamente, los avances realizados por la investigación e innovación didácticas, en torno a cada una de las tres actividades mencionadas, ha ido mostrando convergencias que reclaman su integración en un único proceso.

Del mismo modo, y en coherencia con todo lo anterior, en las unidades didácticas se suele prestar escasa atención a los contenidos más estrechamente relacionados con los denominados aspectos axiológicos del aprendizaje, en cuya importancia hemos insistido reiteradamente (relaciones CTSA que enmarcan el desarrollo científico, utilización didáctica de la historia de la ciencia, preparación de los estudiantes para la toma fundamentada de decisiones, etc.). A todo ello hay que añadir que, en la enseñanza habitual, se acostumbra terminar el estudio de los temas con un examen planteado como un simple instrumento de constatación de lo que el alumno sabe. Un instrumento limitado habitualmente a lo más fácilmente medible, que se convierte en la finalidad de la enseñanza y orienta en una dirección errónea la actividad de alumnos y profesores.



Es verdad que, en algunos casos, la situación no parece tan esquemáticamente trasmisiva como hemos criticado: a menudo, por ejemplo, se hacen preguntas a los alumnos, pero se trata, en general, de preguntas retóricas o anecdóticas, que no influyen en cómo se organiza el estudio del tema. Algo esencial, precisamente, es preguntarse si la estructura del tema y del curso responde a una planificación de las actividades y tareas que parta de un planteamiento de situaciones problemáticas que alumnos y alumnas puedan considerar de interés para implicarse en su estudio, concebido como una investigación.

### **1. ¿Cómo planificar la estructura de temas y cursos?**

La idea de que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se desarrolle como un proceso de (re)construcción de conocimientos en un contexto que se inspire (dentro de lo posible en cada nivel) en el de la investigación científica, es actualmente compartida por un amplio abanico de investigadores en Didáctica de las Ciencias. Las más recientes propuestas curriculares, y los planes de formación de profesores más ambiciosos, han hecho suya esta orientación. Así, ocurre, por ejemplo, con los "National Standards for Science Education" en los Estados Unidos donde se establece que "en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la investigación, como forma más adecuada para favorecer que los alumnos aprendan ciencia, a hacer ciencia y sobre la ciencia". Ello se fundamenta, entre otras razones, en el hecho de que enfrentarse a situaciones problemáticas y elaborar posibles soluciones a modo de tentativas, participando en un ambiente hipotético-deductivo característico de una investigación, suministra oportunidades idóneas para un aprendizaje más profundo: obliga a plantear problemas y discutir su relevancia, tomar decisiones que permitan avanzar, formular ideas y ponerlas a prueba, obtener evidencias para apoyar las conclusiones, utilizar los criterios de coherencia y universalidad, etc. Y todo ello en un ambiente de trabajo colectivo y de implicación personal en la tarea, en un aula en la que existe tiempo para pensar, hacer y argumentar.

También hemos visto anteriormente que no tiene sentido separar las "destrezas de pensamiento" de los conocimientos específicos. Los intentos de enseñar destrezas de pensamiento sin una fuerte base de conocimientos factuales no promueven la capacidad de resolver problemas, ni apoyan la transferencia a nuevas situaciones. Los estudios de psicología cognitiva sobre diferencias entre expertos y novatos en la resolución de problemas, han mostrado cómo los expertos, independientemente del campo de conocimientos considerado, siempre se basan en una información altamente estructurada; no son solo "buenos pensadores o muy listos". Las competencias de planificar tareas, advertir regularidades, generar argumentos y explicaciones razonables, o extraer analogías para otros problemas, están más estrechamente relacionadas con el aprendizaje significativo del conocimiento específico de lo que antes se creía.

*A lo largo de este proyecto nos hemos referido varias veces a un modelo de enseñanza coherente con las principales características de la investigación científica y a sus implicaciones en aspectos claves de dicha enseñanza como son la introducción de conceptos, los trabajos prácticos, la resolución de problemas de papel y lápiz o la propia evaluación. Cabe plantearse, ahora, cuáles serían esas implicaciones en el diseño de temas o unidades didácticas en forma de programas de actividades.*

Esencialmente se trata de plantear el aprendizaje de cada tema –y del conjunto de temas que componen un curso– como un trabajo de *investigación y de innovación*, a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos –y, muy en particular, en las grandes preguntas que han orientado dicho trabajo– que debería incluir, al menos, los siguientes aspectos:

- ✓ Plantear en el inicio del curso y de los grandes bloques o temas que lo compongan (inspirándose en la historia y la epistemología) situaciones problemáticas que estén relacionadas con el origen de los conocimientos científicos implicados y que sirvan como punto de partida para el trabajo de los estudiantes, los cuales han de apropiarse de dichos problemas y tomar conciencia de su interés, como una condición necesaria para que puedan involucrarse en las tareas siguientes.
- ✓ Diseñar la secuenciación de los temas que componen el curso o de cada gran síntesis del mismo (mecánica, electromagnetismo, teoría atómica y molecular, etc.) como una posible estrategia para avanzar en la solución de las grandes preguntas iniciales. Ello permite justificar un hilo conductor en el que cada tema se convierte en un problema más concreto cuya solución permitirá avanzar en el problema inicial y, al mismo tiempo, podrá generar nuevas preguntas, aumentando así las relaciones entre los distintos temas y la coherencia de los contenidos que conforman el curso.
- ✓ Análogamente, organizar el índice de cada tema de forma que responda igualmente a una posible estrategia para avanzar en la solución a una o varias preguntas "estructurantes", lo que hará que la secuencia de los distintos apartados que conformen el tema responda a la intencionalidad de avanzar en la solución de esas preguntas iniciales. Por tanto: la estructura de los temas no está guiada por los conceptos fundamentales sino por la voluntad de llevar a cabo una investigación para resolver unos problemas fundamentales.
- ✓ En este proceso de resolución de problemas, los conceptos y modelos son introducidos de forma funcional como parte del proceso y siempre como tentativas o hipótesis fundadas que han de ser puestas a prueba, tanto por su capacidad predictiva de nuevos hechos como por su capacidad para ser utilizados, con éxito, en la resolución de problemas de lápiz y papel, la elaboración de utensilios o prototipos y, sobre todo, por su coherencia con el cuerpo de conocimientos ya establecido en el que han de encajar adecuadamente.
- ✓ En el contexto anterior, la evaluación ha de ser vista como un instrumento de ayuda (a lo largo de todo el proceso) para el avance en la solución de los problemas planteados. Este papel se facilita con la identificación de los obstáculos de todo tipo que dificultan dicho avance. Ello permite establecer un itinerario de aprendizaje junto con otro de las posibles barreras asociadas y planificar las actividades de ambos para impulsar dicho aprendizaje.
- ✓ La estructura problematizada favorece de modo natural la realización de recapitulaciones periódicas para ver qué es lo que se ha avanzado y lo que queda pendiente, así como la elaboración de otras actividades de síntesis y recapitulaciones como mapas conceptuales o cuadros comparativos. Dichas actividades son fundamentales para que los estudiantes no olviden el hilo conductor de la tarea planteada.

- ✓ Esta estructura "gruesa", debe ser concretada en una secuencia de actividades o "programa-guía" a modo de un plan de investigación dirigida, para su propuesta de realización en el aula por alumnos distribuidos en pequeños grupos de trabajo que, con tiempo, para pensar, argumentar y hacer, avanzan (junto con el profesor) en el problema planteado, en un ambiente favorecedor tanto de la racionalidad científica como de la implicación afectiva.

Las orientaciones anteriores se han de contemplar en el diseño de cursos y temas con una estructura problematizada, en los que se integren de forma coherente aspectos claves para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias como son las prácticas, los problemas, la teoría y la propia evaluación. Dichas orientaciones no han de contemplarse como un algoritmo rígido que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino como indicaciones genéricas que llaman la atención sobre aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos y que, a menudo, no son tenidos suficientemente en cuenta en la educación.

Llegar a concretar las secuencias de actividades como propuestas de investigación guiada que se van a proponer en el aula a los estudiantes, requiere que el equipo de profesores/investigadores que diseña el curso disponga de un conocimiento en profundidad de la materia a tratar: cuáles fueron los problemas que están en el origen de los conocimientos abordados, cómo se ha llegado hasta el conocimiento actual, cuáles fueron las dificultades que hubo que superar, las ideas que permitieron avanzar, el contexto social, los desarrollos tecnológicos y las repercusiones (sociales, ambientales, etc.) que tuvieron y tienen los estudios en dicho campo, etc.

En general, adquirir dicha formación exige un estudio histórico y epistemológico del campo que se va a tratar. Pero no basta: la elaboración de la estructura problematizada debe ser abordada –y esto es fundamental– con **intencionalidad didáctica, guiada por una experiencia práctica docente reflexionada y los principales hallazgos de la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias**, para que su desarrollo sea útil y factible para los estudiantes implicados. Aun así, las secuencias de actividades elaboradas para despertar el interés y favorecer el aprendizaje significativo deben ser consideradas como hipótesis de trabajo que han de ser sometidas a su puesta en práctica reiterada en las aulas, lo que indudablemente conducirá a revisiones e, incluso, a profundas reestructuraciones. La elaboración de los temas y cursos como problemas, desde las preguntas estructurantes hasta la secuencia de actividades concretas, es una de las tareas más retadoras, y por tanto más apasionantes, con las que un equipo de profesores puede enfrentarse. Aunque, como ya hemos señalado, el proceso de elaboración no puede caracterizarse por el seguimiento de unas etapas rígidas, resulta conveniente formularse una serie de preguntas generales que lo orienten.

## **2. ¿Cómo diseñar los contenidos de un curso y de cada tema como estructurantes para su desarrollo?**

*¿Qué preguntas pueden guiar el estudio histórico, epistemológico y didáctico requerido para que un equipo de profesores/investigadores elabore la estructura problematizada de un tema o de un conjunto de temas?*

El cuadro siguiente recoge y comenta brevemente algunas preguntas que consideramos básicas para orientar la elaboración de una estructura problematizada.

**Preguntas que pueden guiar el estudio histórico, epistemológico y didáctico, para elaborar la estructura problematizada de un tema.**

**PROBLEMA ESTRUCTURANTE Y QUÉ SE PRETENDE CONSEGUIR**

**¿Qué problemas de interés están en el origen de los conocimientos que han de adquirir?**

Esto debe permitir identificar el **objetivo clave** y posibles problemas “estructurantes”.

**¿Cuál o cuáles serían más adecuados para iniciar el proceso de investigación?**

No tiene por qué recurrirse necesariamente a los mismos problemas que se plantearon históricamente (incluso, a veces, puede no ser conveniente). La selección ha de estar orientada por el propósito de que sea adecuada para organizar el plan de investigación de los alumnos y, en primer lugar, a despertar su interés hacia el estudio.

**METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS PREVISIBLES PARA ALCANZARLAS**

**¿Qué ideas o conocimientos constituyeron pasos necesarios para solucionar los problemas?  
¿Cuáles fueron los obstáculos más importantes en dicho proceso?**

Este estudio debe permitir identificar objetivos más concretos, o **metas parciales**, y posibles **obstáculos asociados**. Se trata de seleccionar aquellos conocimientos que deben ser adquiridos para lograr la solución al problema estructurante, teniendo presente los condicionamientos técnicos, sociales, ideológicos, etc., que hicieron posible u obstaculizaron el avance.

**¿Qué preconcepciones (ideas, razonamientos, actitudes) pueden tener los alumnos sobre los aspectos anteriores que supongan obstáculos para el aprendizaje y que, por tanto, deben ser tomados en consideración?**

Nos remitimos aquí a lo discutido en el tema 5 acerca de los hallazgos de la investigación didáctica sobre ideas y razonamientos espontáneos de los alumnos y sobre la posible semejanza entre las barreras históricas más importantes y las ideas espontáneas más arraigadas.

**QUÉ ESTRATEGIAS SEGUIR Y CÓMO FAVORECER LA REVISIÓN DE LO AVANZADO AL DESARROLLARLAS**

**¿Qué estrategia global o plan de trabajo (que se convertirá en el índice o hilo conductor del tema) conviene establecer, implicando en lo posible a los alumnos, para avanzar en la solución a los problemas iniciales?**

En un ambiente investigativo es preciso establecer un plan de trabajo ligado, intencional y lógicamente, al problema planteado, al que poder recurrir ocasionalmente (al menos a la finalización o comienzo de los grandes apartados) para favorecer la orientación de los alumnos: ¿cuál era el problema planteado?, ¿cómo planificamos su tratamiento?, ¿qué hemos avanzado?, ¿qué hemos tenido que superar para llegar hasta aquí?, ¿qué vamos a hacer ahora?...

**SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONCRETAS Y SISTEMA DE EVALUACIÓN**

**¿Qué plan concreto proponer a los alumnos para desarrollar la estrategia propuesta? ¿Cómo planificar la evaluación para que impulse la buena marcha de la investigación?**

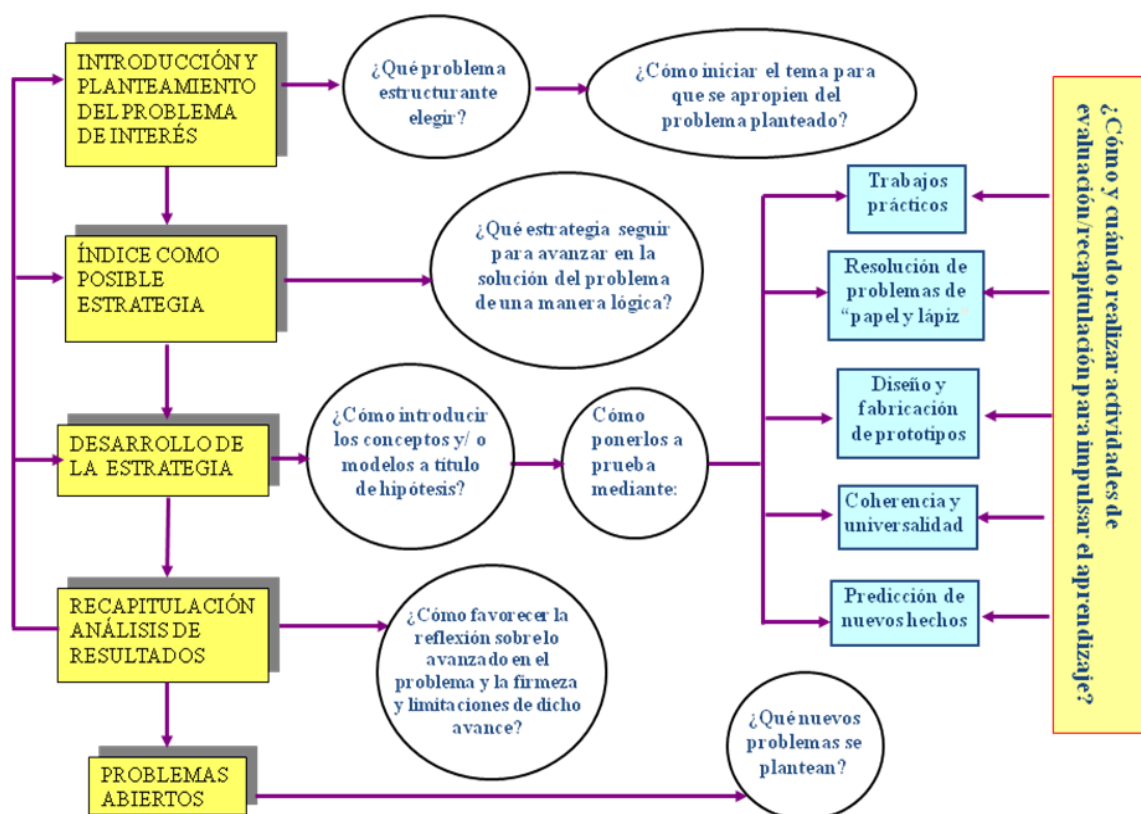
Dicho plan (la secuencia de actividades concretas que se van a proponer en el aula) y el sistema de evaluación (concebido para impulsar el aprendizaje), constituyen la “estructura fina” del tema, y deberán ser considerados como hipótesis de trabajo que es preciso poner a prueba para lograr que los estudiantes comprendan la relevancia de las problemáticas abordadas, pongan en práctica las estrategias propias de la actividad científica (en el contexto escolar), adquieran significativamente los conocimientos científicos y analicen las implicaciones CTSA de los correspondientes desarrollos científico-tecnológicos, propiciando la toma de decisiones fundamentada. Se trata, en suma, de favorecer su “inmersión en la cultura científica”.

Sabemos que los alumnos no aprenden por lo que se hace para ellos, sino por lo que se les hace hacer. Por tanto, la secuencia de actividades debe estar diseñada fundamentalmente para favorecer la participación, la argumentación y la reflexión, en un ambiente en el que todos (profesor y alumnos) están implicados en que la investigación vaya bien

Es conveniente resaltar la estrecha relación que habrá entre el problema estructurante y el objetivo clave, por un lado, y entre la estrategia o índice, las metas parciales y las recapitulaciones, por otro. Resulta útil pensar en estos elementos como la “estructura gruesa” o de “paso largo” de la planificación. La secuencia concreta de actividades en cada apartado y el sistema de evaluación (excepto las grandes recapitulaciones) podría considerarse la “estructura fina” o de “paso corto” de la planificación.

Debe resaltarse que el estudio realizado permite generar un itinerario posible de aprendizaje y otro de obstáculos asociados, lo que favorece el diseño adecuado de un itinerario de evaluación (concebida como un instrumento para impulsar y asegurar el avance en el problema tratado), integrado dentro del plan de investigación.

Puede ser útil, para generar secuencias de actividades problematizadas, y para la orientación de profesores y alumnos, la utilización de un instrumento, como el que muestra la figura siguiente, que hemos denominado “*gráfico de estructura problematizada*” y que constituye una representación de la estructura de partida de los temas. Pero con ayuda del gráfico o sin ella, lo esencial es que el desarrollo de un tema y de todo el curso se aproxime a un proceso de investigación en torno a problemas de interés, lo que debe reflejarse, en el título mismo de los temas, en el carácter creativo de las actividades propuestas y en las posibilidades que brinda todo ello a los alumnos de participar en la (re)construcción y sólida apropiación de los conocimientos, a la vez que se familiarizan con la actividad científica y tecnológica y aumenta su interés hacia la ciencia



### 3. ¿Qué problemas de interés utilizar como estructurantes para el desarrollo de un tema o de un conjunto de temas?

Aquí, para terminar, comentaremos un ejemplo de estructura problematizada en torno al bloque de conocimientos de la mecánica. Somos conscientes de que estos gráficos no resultan en sí mismos significativos, excepto para quienes han participado en su construcción o pueden conocer con detalle el proceso que se ha seguido. Nos remitimos, pues, a las referencias bibliográficas indicadas para quienes deseen asomarse a dicho proceso, así como al tema siguiente de este mismo proyecto, en el que se presenta un posible programa de actividades completo sobre el tema de la visión.

Son muchos los campos de la ciencia en los que ha habido que superar barreras conceptuales y en los que los grandes avances se han producido mediante el desarrollo de ideas cualitativamente diferentes a su antecesoras. Sin embargo, en la ciencia clásica ninguna de estas barreras ha tenido la misma entidad (por su carácter conceptual, metodológico, ontológico y por su influencia sobre el pensamiento humano) que la de la barrera que fue necesario superar para llegar a una concepción universal del movimiento de todos los cuerpos.

*Comparad las principales características de la física aristotélica frente a la física newtoniana en cuanto al movimiento de los cuerpos.*

La cuestión de por qué se mueven las cosas de una manera u otra es el punto central de la física de Aristóteles, según la cual los objetos de naturaleza distinta se mueven de forma distinta. Para Aristóteles, el material de que está hecho un objeto es la causa de su forma de moverse. Existen cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) que al mezclarse en distintas proporciones dan lugar a todos los materiales existentes. Cada uno de dichos elementos tiene un movimiento propio según el cual se mueve de forma espontánea hacia su lugar natural (la tierra en lo más bajo, después el agua, luego el aire y en lo más alto el fuego). El humo va hacia arriba porque es una mezcla de aire y fuego mientras que las piedras caen porque están formadas principalmente por tierra, cuyo lugar natural es el más bajo. Cualquier movimiento de un objeto que lo aleje de su lugar natural no puede ser más que un movimiento violento o forzado que acabará extinguiéndose por la imposición del movimiento hacia el lugar natural del objeto. Muchas experiencias parecen confirmar esta idea, así una piedra lanzada hacia arriba va cada vez más lenta hasta que "se gasta" el movimiento violento y se impone el natural, volviendo entonces a caer cada vez más deprisa conforme se acerca al suelo donde acaba en reposo. Así pues, todo movimiento de los objetos terrestres acaba en el reposo en su lugar natural. La situación para los astros es drásticamente distinta: su movimiento no tiene principio ni fin sino que es circular y eterno. Incluso el movimiento de los astros errantes (planetas) con trayectorias extrañas, debía ser fruto de una combinación geoméricamente adecuada de movimientos circulares (epiciclos). De ello se deduce que fueran cuales fuesen las leyes naturales, éstas debían ser distintas para los objetos terrestres (o sub-lunares) que para los celestes (o supra-lunares). Se erige así una barrera entre el mundo terrestre y el celeste.

Tomás de Aquino, en el siglo XIII, unió la física y la astronomía aristotélica con la teología cristiana, dando lugar a un cuerpo de conocimientos en el que desaparecía la diferencia entre física, astronomía y teología, de tal forma que, durante siglos, no fue posible poner en cuestión ninguna de ellas sin atacar a las otras.

En el extremo opuesto (donde queremos que lleguen nuestros estudiantes), se encuentra la mecánica newtoniana que, epistemológicamente, es una concepción unificadora del movimiento de todos los cuerpos y de las causas que hacen que sea de una u otra forma. La idea newtoniana de fuerza (los principios de la dinámica) y su hipótesis sobre la existencia de una fuerza atractiva entre todos los cuerpos terrestres y/o celestes (Gravitación Universal) transforma las evidentes diferencias entre el movimiento de distintos cuerpos, en una consecuencia de las diferentes circunstancias a las que estos se someten (condiciones iniciales, fuerzas de empuje, fuerzas de rozamiento, etc.), explicando de idéntica manera el movimiento de la Luna que el de una piedra lanzada oblicuamente. La naturaleza del cuerpo no importa, sino tan solo su masa y las interacciones en las que participa. Tan natural se considera el reposo como el movimiento rectilíneo y uniforme (siempre respecto de un determinado sistema de referencia), siendo necesario la acción de una fuerza resultante para modificar cualquiera de dichos estados.

*¿Qué factores contribuyeron más a la sustitución de la mecánica aristotélico-escolástica por la mecánica clásica?*

Entre los factores que supusieron pasos decisivos o grandes avances, en el inmenso salto que separa la mecánica aristotélica de la newtoniana (además del drástico cambio metodológico), se encuentran los siguientes:

- ✓ Estudiar el movimiento de los objetos ignorando su naturaleza, imaginándolos como puntuales, convirtiéndolos en "objetos teóricos" (lo que hace posible su matematización, como, por ejemplo, en los trabajos de Galileo sobre el péndulo). Ello supuso un paso esencial frente a la teoría aristotélica que asociaba el tipo de movimiento a la naturaleza de los objetos.
- ✓ La invención de magnitudes para caracterizar y distinguir unos movimientos de otros, de un modo operativo, sin tener en cuenta la composición material del móvil. La idea, en particular, de composición de movimientos rectilíneos para explicar trayectorias curvas (manejo de magnitudes vectoriales), como hizo Galileo con el tiro horizontal y el tiro oblicuo..
- ✓ La sustitución de la idea de que el reposo en su lugar natural (o el movimiento circular uniforme alrededor de la Tierra, en el caso de los astros) era el estado natural de los cuerpos, por la idea de que no era posible distinguir entre reposo y movimiento rectilíneo y uniforme, lo que equivale, de hecho, a la concepción cualitativa de que no hace falta fuerza resultante alguna para que un cuerpo se mueva con movimiento rectilíneo y uniforme o se encuentre en reposo y sí para que lo haga con cualquier otro tipo de movimiento.
- ✓ La idea de que ningún cuerpo puede acelerarse a sí mismo sino que hace falta una interacción con otro para que se produzcan cambios en su velocidad.
- ✓ La comprensión de que para que se produzca un movimiento circular y uniforme no se requiere de ninguna fuerza hacia fuera del centro (centrífuga), sino hacia el mismo centro (centrípeta), tal que cambie continuamente la dirección de la velocidad sin cambiar su módulo, evitando en cada punto de la trayectoria que el móvil se escape tangencialmente con la velocidad que lleve en ese instante.

- ✓ La hipótesis de la existencia de la interacción a distancia que permitió, entre otras cosas, superar la barrera existente entre el movimiento de los cuerpos celestes (como el de la Luna alrededor de la Tierra) y aquellos objetos terrestres que cambian de movimiento cuando interaccionan de forma evidente unos con otros. La idea, en principio inverosímil, de existencia de fuerzas entre cuerpos alejados entre sí (sin contacto) debido a una propiedad universal (la masa), hizo posible una concepción unitaria del movimiento de todas las cosas (terrestres y/o celestes), con explicaciones basadas en los mismos (y pocos) conceptos.

El éxito de la mecánica clásica se fue afianzando a medida que se puso a prueba su enorme capacidad predictiva en la solución de situaciones problemáticas reales de interés (ingeniería, mareas, sistema solar, posiciones de los astros, etc.) y ampliándose las aplicaciones de sus conceptos y principios básicos a otros campos como, por ejemplo, el de las fuerzas que ejercen y transmiten los fluidos.

Los obstáculos previsibles para que los alumnos se apropien de las grandes ideas de la mecánica clásica se pueden extraer de la historia de la ciencia y de la propia experiencia docente, existiendo una abundante bibliografía, por ejemplo, sobre ideas alternativas de los estudiantes en el campo de la mecánica (como ya tratamos con cierto detalle en el tema 5 de este proyecto).

*¿Qué preguntas o problemas podrían guiar el estudio de la mecánica newtoniana (cinemática, dinámica y gravitación) en alumnos de secundaria? ¿Qué posibles obstáculos habría que tener en cuenta?*

En los cuadros y gráfico siguientes se exponen, a modo de ejemplo, título, objetivo clave, problemas estructurantes, metas parciales y obstáculos del estudio propuesto.

TÍTULO HABITUAL	TÍTULO COMO PROBLEMA	SECUENCIA DE TEMAS / PROBLEMAS
Mecánica (Cinemática, Dinámica, Gravitación)	¿Qué es lo que hace que los objetos se muevan como lo hacen?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cómo caracterizar y diferenciar un <b>movimiento</b> de otros? (independientemente del objeto que se mueve).</li> <li>2. ¿Qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea de un <b>tipo</b> u otro? ¿Cómo podemos conseguir que un objeto se mueva como deseamos?</li> </ol>

Seguidamente se detallan la meta orientadora (u objetivo clave) así como las metas parciales y obstáculos asociados, relativos a esta síntesis.

**META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)**

Conseguir que los estudiantes construyan un cuerpo de conocimientos que les permita describir movimientos con la máxima precisión posible (es decir, en términos de la evolución de las magnitudes posición, velocidad y aceleración) y realizar predicciones en movimientos regulares. Investigar la naturaleza de algunos movimientos reales, en particular, el movimiento de caída libre o el de una burbuja de aire, y poner a prueba el cuerpo de conocimientos construido en situaciones problemáticas.



<b>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</b>	<b>SUBPROBLEMAS ESTRUCTURANTES</b>
<p>¿Por qué los objetos se mueven de forma distinta?</p> <p>¿Es posible que el movimiento de una piedra lanzada al aire pueda explicarse de la misma manera que el movimiento de la Luna?</p> <p>¿Hay diferencias fundamentales entre los movimientos de los distintos objetos de la Naturaleza, o podemos encontrar una explicación universal para todos los movimientos independientemente del objeto que se mueva?</p>	<p>¿Cómo caracterizar un movimiento?, ¿cómo podemos distinguir un movimiento de otros? (Cinemática).</p> <p>¿Qué es lo que hace que un movimiento sea de un tipo o de otro? ¿Cómo conseguir que cualquier objeto realice un movimiento deseado? (Dinámica).</p>

### **METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS**

1. Inventar magnitudes que sirvan para caracterizar y diferenciar unos movimientos de otros independientemente de la naturaleza del objeto que se mueve.

- Invención y manejo significativo de las magnitudes necesarias para describir los movimientos: posición, cambio de posición, velocidad y aceleración.
- Estudiar el movimiento de los objetos ignorando su naturaleza, imaginándolos como puntos
- Apreciación del carácter relativo del movimiento y la consiguiente necesidad de adoptar un sistema de referencia para estudiarlo.
- Utilización del lenguaje gráfico para describir la evolución de las magnitudes en los movimientos.
- Comprensión cualitativa y cuantitativa de las gráficas relacionándolas con movimientos reales y hallando valores a partir de ellas.
- La idea, en particular, de composición de movimientos rectilíneos para explicar las trayectorias curvilíneas (la invención de magnitudes vectoriales).

*Posibles obstáculos:*

- Posibilidad de confundir espacio, desplazamiento y distancia recorrida
- Asociación entre la posición y la rapidez y entre ésta y la aceleración.
- Tendencia a confundir las gráficas del movimiento con el mismo movimiento
- Tendencia a describir, en cualquier situación, el movimiento de los cuerpos como un movimiento absoluto con relación a un espacio en reposo y de forma que el sentido positivo coincida siempre con el del propio movimiento o adoptar sistemas de referencia “egocéntricos”.
- Tendencia a manejar ecuaciones y abordar los problemas de modo mecánico.

2. La sustitución del reposo o del movimiento circular uniforme (MCU) como el estado natural de los cuerpos, por la idea de que no es posible distinguir entre reposo y movimiento rectilíneo y uniforme (MRU).

- Esto equivale, de hecho, a la concepción cualitativa de que no hace falta que actúe una fuerza sobre un cuerpo para que esté en reposo o en MRU, y sí para que esté con cualquier otro movimiento.
- La comprensión de que para producir un MCU no se requiere una fuerza “hacia afuera del centro”, sino “hacia el centro”. Esto orientó la atención a la influencia fundamental del cuerpo central, en el sistema Tierra/Luna por ejemplo. El análisis centrífugo había centrado su atención en el cuerpo que da vueltas, cuya tendencia a apartarse del centro parece no tener nada que ver con las propiedades del cuerpo central

***Posibles obstáculos:***

- Todas las ideas espontáneas sobre fuerza/movimiento, bien caracterizadas en la literatura didáctica (ved tema 5 de este proyecto).
- 3. La idea de que los cuerpos no pueden acelerarse a sí mismos, sino que debe de haber una interacción entre dos cuerpos para que se produzcan cambios en la velocidad. Cuando un cuerpo cambia su velocidad debe buscarse las fuentes de la interacción en la que participa, aunque no exista contacto visible.**
- La hipótesis de la existencia de interacción a distancia, es decir que es posible que dos cuerpos se ejerzan fuerzas sin tocarse. Dicha hipótesis permitió superar la barrera existente entre el movimiento de cuerpos celestes, como la Luna, o el de caída de los cuerpos (que no interaccionan “por contacto” con otros) y el de los cuerpos terrestres (que interaccionan de forma evidente con otros cuando su movimiento es rectilíneo acelerado o circular uniforme, por ejemplo).
  - La inverosímil idea de la existencia de fuerzas entre cuerpos sin “contacto” debidas a una propiedad universal, la masa, hizo posible una concepción unitaria del movimiento de todas las cosas, una explicación de cualquier movimiento basada en los mismos, y pocos, conceptos.

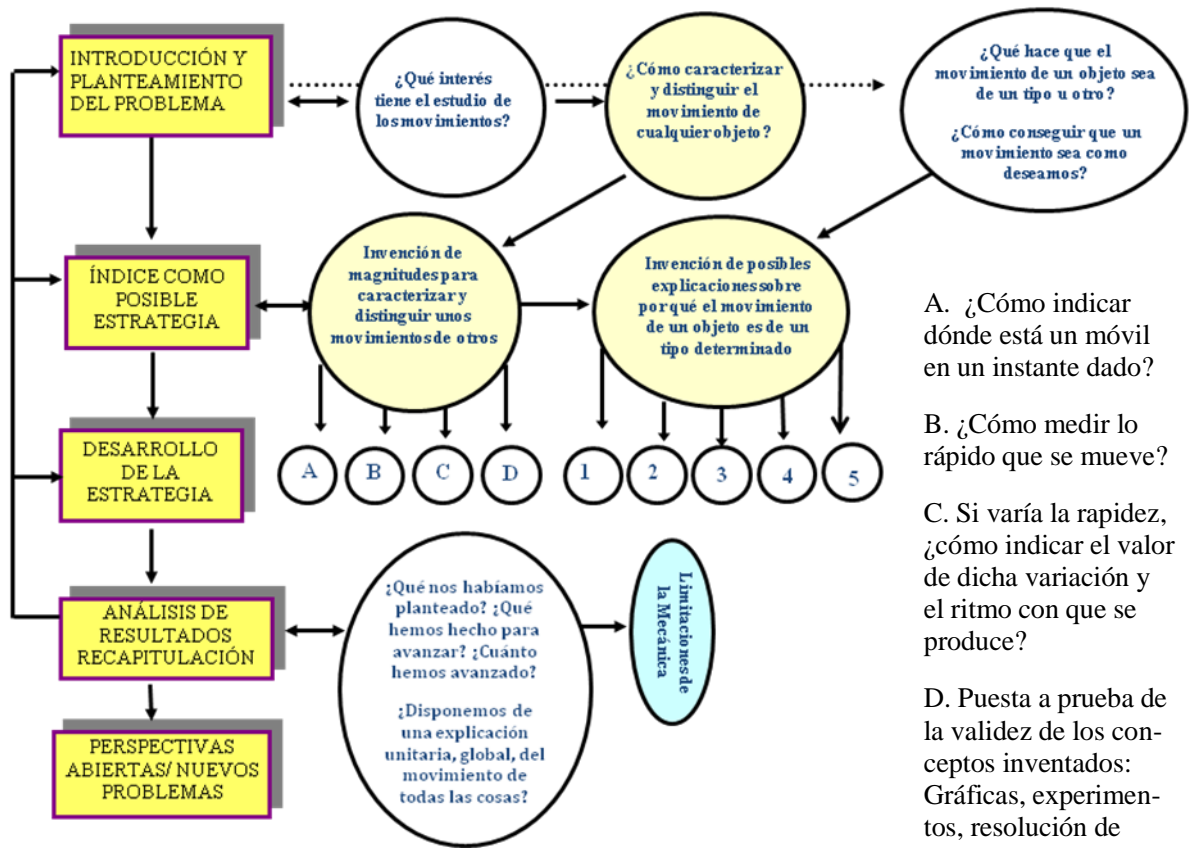
***Posibles obstáculos***

- Ideas espontáneas fuerza/movimiento (tema 5).
  - Creencia en la distinta naturaleza de los movimientos “celestes” y terrestres.
- 4. Utilizar la capacidad predictiva de dichas magnitudes e hipótesis para plantear y resolver situaciones de interés. Realizar predicciones de movimientos regulares:**
- Estudio de algunos movimientos utilizando las ecuaciones con sentido físico, comprendiendo el significado de las ecuaciones del movimiento y manejándolas para realizar predicciones.
- 5. Comprender el significado y relaciones de las magnitudes que permiten caracterizar un movimiento. Diferenciar movimientos utilizando dichas magnitudes (escalares y vectoriales).**
- Saber qué hacer para caracterizar un movimiento tipo y/o hallar el valor de las distintas magnitudes para ese movimiento.
  - Estudio de algunos tipos de movimiento (uniforme), utilizando las ecuaciones con sentido físico.
  - Familiarización con un cálculo vectorial mínimo (cualitativo), ligado a la apreciación del carácter vectorial de las magnitudes, para permitir después comprender el concepto newtoniano de fuerza...

***Posibles obstáculos:***

- Algunas concepciones alternativas como, por ejemplo, la idea de que un cuerpo de doble masa que otro ha de caer justamente en la mitad de tiempo, cuando ambos se suelten desde la misma altura.

En la página siguiente se reproduce un gráfico de la estructura problematizada de la mecánica.



- A. ¿Cómo indicar dónde está un móvil en un instante dado?
- B. ¿Cómo medir lo rápido que se mueve?
- C. Si varía la rapidez, ¿cómo indicar el valor de dicha variación y el ritmo con que se produce?
- D. Puesta a prueba de la validez de los conceptos inventados: Gráficas, experimentos, resolución de problemas.

1. ¿Cómo podemos conseguir un MRU o reposo?
2. ¿Cómo conseguir que un cuerpo tenga aceleración?
3. ¿Los cuerpos pueden acelerarse a si mismos?
4. La hipótesis de la Gravitación Universal.
5. Puesta a prueba de la explicación: experimentos, resolución de problemas de interés.

Queda por resolver una de las preguntas que nos hacíamos al principio de este capítulo: ¿Qué secuencia de actividades concretas diseñar, considerando las metas a alcanzar y los obstáculos previsibles (teniendo en cuenta la investigación al respecto)? Conviene tener en cuenta que para que un programa de actividades sea realmente útil para un profesor o, mejor, para un equipo de profesores, éste ha de participar en su diseño o, cuanto menos, ha de proceder a un serio trabajo de apropiación del mismo, con las consiguientes modificaciones que ello comportará. Para facilitar este objetivo, hemos dedicado todo el tema siguiente a la presentación, a modo de ejemplo, de un programa de actividades completo sobre la visión. También se pueden consultar otros programas en:

<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/2609>

### Referencias bibliográficas

- ARONS, A. B. (1988). Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 13-23.
- BRANSFORD, J.; BROWN, A. y COCKING, R. (eds) (2000), *How People Learn: Brain, Experience and School* (Expanded Edition), National Research Council. Washington D.C.. National Academy Press. (Puede leerse en [www.nap.edu](http://www.nap.edu))
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: ICE/ HORSORI.
- GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÉNECH, A., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). *Física y Química de 4º de E. S. O. ("El movimiento de todas las cosas")*. Alicante: Aguaclara.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MARTÍNEZ SEBASTIÁ, B. y GIL-PÉREZ, D. (2003). La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje por investigación orientada, En Moneo, C. y Pozo, J. I. (Eds.), *La Universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía*. Barcelona: Síntesis.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). La luz y la visión en la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educación Abierta. Aspectos Didácticos de Física y Química*, 8, 69-101.
- NSES (1996), *National Science Education Standards*(1996), National Research Council. Washington D.C.. National Academy Press
- OSUNA, L. (2001). La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de la "La luz y la visión" en la ESO. Análisis de la relevancia de los objetivos propuestos y obstáculos previsibles. Tesis de Maestría. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València.
- POZO, J. I., GÓMEZ, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1992). *Procesos cognitivos de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. CIDE, MEC, Colección Investigadora.
- VERDÚ, R. (2004). *La estructura de los temas y cursos como problema: un instrumento de ayuda al aprendizaje de la Física y la Química*, Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València.
- VERDÚ, R., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada, *Alambique*. 34, 47

## 10. LUZ Y VISIÓN: ¿CÓMO VEMOS?

### ¿CÓMO PODEMOS VER MEJOR?

#### A. CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de comenzar este tema, comentaremos algunos aspectos clave de su estructura problematizada, que justifican y orientan los contenidos y la secuencia de enseñanza que presentamos con posterioridad:

##### **Meta orientadora (objetivo clave)**

Ser capaz de comprender cómo vemos, tanto en la visión directa como en la indirecta (al mirar espejos, a través de lentes, cuando objeto y ojo se encuentran en medios distintos, etc.), apropiándose del modelo de visión de Kepler. Ello supondrá adquirir un conocimiento con poder explicativo, con el que se puedan hacer y probar predicciones o comprender y diseñar algunos instrumentos, y, por tanto, con sentido en sí mismo. El modelo de visión de Kepler está en la base de los conocimientos que se pretenden enseñar en todos los niveles educativos, aunque no suele citarse como tal.

##### **Problemas estructurantes**

En realidad partimos de tres preguntas fundamentales:

- ¿Cómo vemos?
- ¿Qué es necesario para ver bien?
- ¿Cómo podemos ver mejor?

Para poder abordar científicamente el problema de cómo vemos, es necesario elaborar un modelo hipotético acerca la visión y ponerlo a prueba. El modelo de visión de Kepler tiene la suficiente entidad y capacidad explicativa, como para ser origen de los conocimientos que queremos que aprendan los estudiantes de enseñanza secundaria (14-16 años) y los profesores en formación. Una vez introducido, se trata de ponerlo a prueba comprobando su capacidad explicativa, tanto para las grandes preguntas iniciales y algunos fenómenos físicos relacionados con ellas, como en otras preguntas que puedan derivarse a raíz de todo ello (subproblemas estructurantes), tales como:

- ¿Cómo explicar la visión indirecta, cuando vemos los objetos al mirar un espejo o cuando están sumergidos en el agua ...?
- ¿Cómo explicar y corregir las anomalías visuales?

Para avanzar en la solución de todos los problemas plantados es necesario dar una serie de pasos y tener en cuenta los posibles obstáculos que se pueden presentarse:

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

### **Metas parciales (pasos necesarios) y obstáculos asociados**

Apropiarse de una forma funcional del modelo de visión de Kepler supone:

**a)** Concebir la visión a partir de un modelo en el que se relaciona el objeto, la luz y el ojo. En ese modelo, el objeto es una fuente luminosa, la luz una entidad independiente en el espacio y el ojo un receptor de luz.

Y para ello, es necesario superar los siguientes obstáculos:

- ✓ Creer que el ojo no es un receptor de luz, bien por pensar que al mirar “algo” es emitido por el ojo (por lo que se podrá aceptar que se pueda ver en total oscuridad) o bien porque el objeto emite una imagen ya formada que llega hasta el ojo.
- ✓ No considerar que algunos objetos que vemos sean fuentes de luz.
- ✓ Pensar que solo hay luz en las fuentes luminosas o en sus proximidades, por lo que no se considera a esta como una entidad independiente en el espacio.

**b)** Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de propagación de la luz potencialmente explicativo, según el cual: los rayos son conceptos ideales no visibles (ni la propia luz); desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas direcciones (esféricamente), y un haz de luz no es sino una parte en forma de cono de la esfera de luz emitida; las fuentes luminosas extensas (ya sean primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales.

Posibles obstáculos:

- ✓ Pensar que la luz o los rayos de luz se ven.
- ✓ No considerar el rayo de luz como una invención sin identidad material, ni color.
- ✓ No considerar las fuentes luminosas extensas como conjuntos de fuentes puntuales emisoras de luz en todas las direcciones posibles, ni trazar haces divergentes de luz desde cada punto de la fuente luminosa.

**c)** Conocer el concepto de imagen óptica del modelo de Kepler, lo que supone considerar al ojo como un instrumento óptico en cualquier fenómeno de visión y formar la imagen óptica punto a punto a partir de los haces luminosos, tanto en la visión directa como en la indirecta.

Posibles obstáculos:

- ✓ Pensar que la imagen se traslada ya formada desde el objeto o que los rayos son portadores de cada uno de los puntos de la imagen.
- ✓ Pensar que la imagen óptica existe independientemente del ojo

**d)** Conocer el campo de validez del modelo elaborado para explicar cómo vemos.

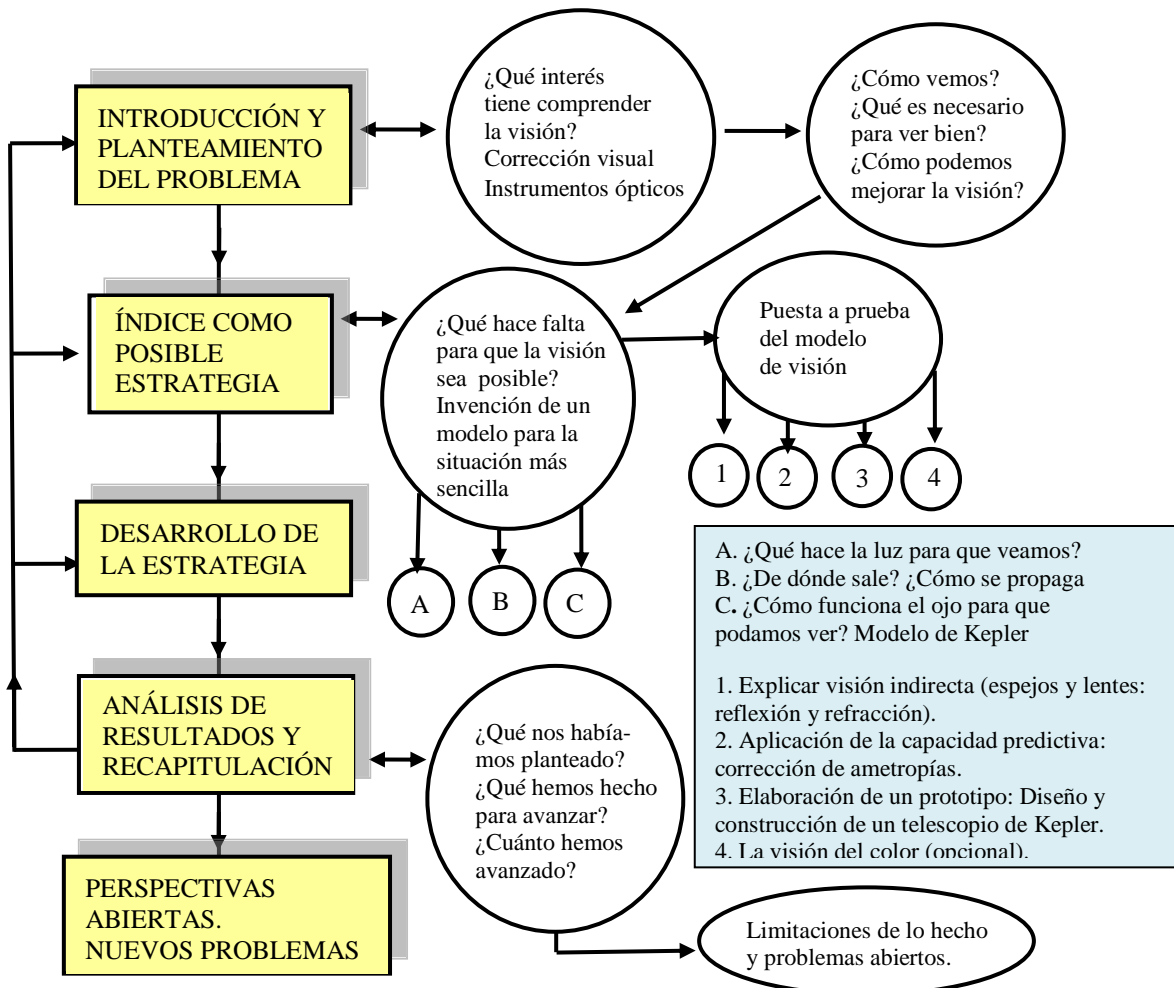
Posibles obstáculos:

- ✓ Desconocer en qué consiste la aproximación paraxial
- ✓ No considerar que en la sensación de la visión participa, en último término, la mente (ilusiones ópticas, interpretación de lo que vemos, etc.).

Una estrategia lógica que permita avanzar en esas metas parciales y superar los obstáculos señalados, ha de contemplar:

- ✓ Plantear el problema de ¿cómo vemos? como origen de un modelo geométrico de la luz y la visión para organizar la enseñanza en torno a él.
- ✓ Antes de comenzar a estudiar ningún fenómeno óptico, establecer la necesidad de que llegue luz al ojo para que se pueda producir la visión.
- ✓ Elaborar un sistema de representación geométrico idealizado de la luz.
- ✓ Modelizar el ojo como un instrumento óptico, formado por una lente y una pantalla, con el que conceptualizar la imagen óptica.
- ✓ Considerar la propagación rectilínea, la reflexión y la refracción como hipótesis formuladas para explicar la visión y no como consecuencias de una determinada concepción sobre la naturaleza de la luz
- ✓ Poner a prueba el modelo de visión elaborado explicando la visión directa e indirecta y diseñando y construyendo algunos instrumentos ópticos.
- ✓ Plantear el campo de validez o límites de aplicación del modelo.

En resumen: con este tema tratamos de conseguir que los alumnos se apropien de una concepción de cómo se produce la visión, que les permita explicar cómo vemos directa e indirectamente (con espejos, lentes, ...) los objetos, así como diseñar y comprender cómo funcionan algunos instrumentos para mejorar la visión. Estas ideas vienen recogidas en el siguiente gráfico de estructura problematizada:



## **B. SECUENCIA DE ENSEÑANZA**

### **¿Cuál es el interés del problema planteado?**

La importancia del problema que abordamos en este tema es fácilmente reconocible, ya que a través de la visión obtenemos la mayor parte de la información con que conocemos e interpretamos nuestro entorno. En efecto, mediante la visión, percibimos formas, colores, brillo, tamaños, proximidad o lejanía ... y podemos disfrutar observando todo aquello que nos parece bello.

Por otra parte, la comprensión de cómo vemos las cosas que nos rodean ha sido uno de los problemas que más ha interesado a los científicos de todas las épocas, y los avances producidos han permitido mejorar multitud de deficiencias en la visión y desarrollar aplicaciones tecnológicas que mejoran esta capacidad humana

*A.1. Citad innovaciones y aplicaciones tecnológicas sobre la visión que hayan supuesto una mejora en la calidad de vida o un avance en el desarrollo científico.*

La realización de esta actividad permite darse cuenta del interés que tiene el tema de la visión y referirse a cuestiones tales como:

- ✓ Las gafas, cuyo uso se remonta hasta el siglo XIII (sus primeros diseños se conocen por cuadros de retratos de monjes que datan de 1352). La construcción de esas primeras gafas, a partir de pruebas de ensayo y error, es anterior a la comprensión en profundidad de la visión humana.
- ✓ Los avances espectaculares que se produjeron en astronomía a partir de siglo XVI, gracias a la invención del telescopio.
- ✓ Los grandes avances que también se produjeron en biología y medicina con la invención del microscopio y su utilización para estudiar los seres vivos y contribuir decisivamente a la cura de muchas enfermedades.

También es posible referirse a otros instrumentos ópticos como el periscopio de los submarinos, las máquinas fotográficas o la simple lupa de aumento.

A la vez, la comprensión de cómo vemos y el desarrollo de las aplicaciones tecnológicas que hemos citado, obligó a los científicos a considerar la luz, con la que se relacionan los fenómenos ópticos, como “algo” que puede ser objeto de estudio por parte de la Física y realizar investigaciones acerca de su naturaleza y de su comportamiento (cómo se propaga en los distintos medios, qué ocurre cuando interacciona con algunos dispositivos ópticos como el ojo, los espejos o las distintas lentes, etc.).

*A.2. Plantead cuestiones que deberíamos abordar para profundizar en la comprensión de cómo vemos, de forma que podamos diseñar una estrategia para su estudio.*

En general, a los estudiantes les resulta bastante difícil plantear este tipo de cuestiones, especialmente cuando los conocimientos que se tienen respecto al tema son escasos. El profesor puede animar a los grupos de trabajo con preguntas tales como: si fuéramos un equipo científico que quiere investigar cómo vemos... ¿por dónde convendría comenzar?



## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

Las cuestiones planteadas se pueden agrupar en torno a los siguientes problemas generales (que son los que van a organizar el contenido y el hilo conductor del tema):

- ✓ ¿Qué es necesario para ver bien los objetos? Avanzar en la respuesta a preguntas de este tipo supondrá elaborar un modelo de visión que explique la visión directa de los objetos en el que se clarifique la función y el comportamiento del ojo, del objeto que es visto y de la luz. También comprobaremos la utilidad del modelo para comprender algunos fenómenos naturales como los eclipses.
- ✓ ¿Cómo vemos al mirar a un espejo, o al mirar a un objeto sumergido en el agua, o al mirar a través de las lentes?, es decir, cómo explicamos la visión indirecta. Avanzar en una respuesta a este tipo de preguntas supondrá poner a prueba el modelo de visión directa de los objetos en una multitud de situaciones de visión y permitirá estudiar funcionalmente aspectos como la reflexión y la refracción.
- ✓ ¿Cómo mejorar la visión? En donde se incluirían preguntas tales como ¿qué lentes son necesarias para corregir las anomalías visuales? o ¿cómo funciona una cámara fotográfica o un telescopio?, etc. Avanzar respuestas a estas cuestiones pondrá de manifiesto la capacidad tecnológica y de aplicación práctica del modelo teórico de visión elaborado.
- ✓ ¿Cómo vemos los colores? Lo que requerirá un refinamiento del modelo de visión y un estudio en profundidad de la luz con que se iluminan los objetos que vemos de distintos colores.

A lo largo de este tema nos detendremos en estudiar los problemas que acaban de plantearse, excepto el último sobre el color, que lo haría excesivamente extenso, por lo que quedará como un problema pendiente a plantearse con posterioridad. Por tanto, el índice que seguiremos, a modo de estrategia para comprender **cómo vemos**, será el siguiente:

1. ¿Qué es necesario para ver bien los objetos? Elaboración de un modelo de visión
  - 1.1. ¿Qué relación existe entre el objeto que es visto, la luz y el ojo?
  - 1.2. ¿Cómo funciona el ojo humano?
2. Puesta a prueba del modelo en situaciones de visión indirecta.
  - 2.1. ¿Cómo vemos al mirar a un espejo plano?
  - 2.2. ¿Cómo vemos los objetos sumergidos en líquidos transparentes?
  - 2.3. ¿Cómo vemos al mirar a través de lentes?
3. Aplicaciones tecnológicas del modelo de visión.
  - 3.1. ¿Cómo se corrigen las anomalías visuales?
  - 3.2. ¿Cómo funciona un telescopio?
  - 3.3. ¿Cómo funciona una cámara fotográfica?
4. Conclusiones y problemas abiertos

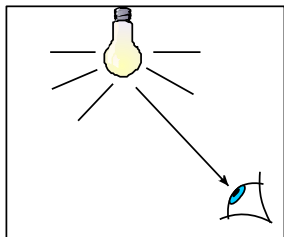
A continuación desarrollaremos el índice anterior.

### 1. ¿QUÉ ES NECESARIO PARA VER BIEN LOS OBJETOS?

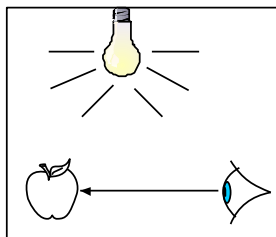
Para abordar el problema podemos partir de una situación bien sencilla como es la que se produce cuando vemos un objeto al mirarlo directamente y a partir de ella tratar de ir clarificando la relación existente entre el ojo, la luz y el objeto que vemos.

#### 1.1 ¿Qué relación existe entre el objeto que es visto, la luz y el ojo?

A.3. Una persona ha realizado los siguientes esquemas para explicar cómo ve al mirar a una bombilla encendida y a una manzana en el interior de una habitación iluminada.



Veo la bombilla porque envía luz al ojo

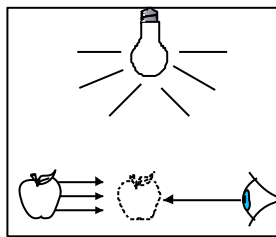
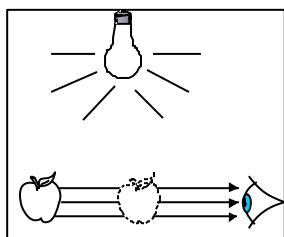


Veo la manzana porque la miro

*Comentad si estáis de acuerdo con esas explicaciones y proponed, en su caso, otras mejores. Plantead también las dudas que os surjan*

El objetivo de esta actividad es iniciar la reflexión sobre qué es necesario para ver un objeto y la función que en ese proceso realizan el objeto, la luz y el ojo, así como plantear los interrogantes que habrá que resolver para avanzar en el problema planteado.

Numerosas investigaciones han constatado que muchos niños suelen interpretar la visión como un proceso en el que no es necesario que llegue luz al ojo del observador procedente del objeto. Así, además del esquema propuesto en la actividad para explicar cómo vemos la manzana, son frecuentes otras explicaciones como, por ejemplo:



En el primero de los esquemas la explicación es que vemos la manzana porque de ella sale una imagen, ya formada, que viaja por el aire hasta que llega al ojo, mientras que en el segundo, la explicación es que la vemos porque de ella sale una imagen ya formada que se encuentra con la “la mirada” que le envía el ojo.

El análisis y discusión de las explicaciones dadas por los alumnos a cómo vemos la manzana en la situación propuesta, permite plantear en el aula algunos interrogantes:

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

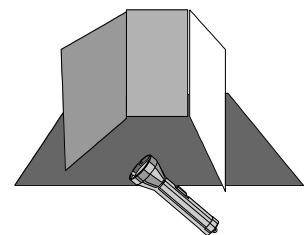
- ✓ Se admite, por todos, que al ver la bombilla llega luz al ojo procedente de ella, pero, **¿es necesario que llegue luz al ojo procedente del resto de objetos (como la manzana), para poder verlos?** Esta cuestión deberá ser recogida por el profesor aunque sea planteada de forma minoritaria por algunos alumnos (que afirman que la luz de la bombilla “rebota” en la manzana).
- ✓ **¿Sale “algo” del ojo al ver los objetos?** Y también **¿qué significan las flechas dibujadas en esos esquemas?**
- ✓ **¿La bombilla encendida emite luz que se propaga en líneas rectas (rayos) en todas direcciones? ¿Podemos aceptar esta idea y su representación sin contrastación experimental y sin un análisis en profundidad de su significado?**
- ✓ A veces se piensa que la luz de la bombilla “rebota” en la manzana y llega al ojo, pero si es así... **¿por qué vemos la manzana y no la bombilla como ocurre en un espejo?, ¿sale una imagen de la manzana con la luz? o también ¿qué hace la luz en el ojo para que veamos bien la manzana?**

Los interrogantes anteriores permiten cuestionar algunas ideas de “sentido común” sobre el proceso de la visión. Conviene resaltar que existen multitud de ejemplos en el proceso de construcción de la ciencia en los que los científicos hacen explícitas las hipótesis contenidas en sus razonamientos y someten a pruebas rigurosas esas ideas que pueden parecer de “sentido común”. Debemos, pues, reflexionar y someter a contrastación experimental las consecuencias lógicas que se derivan de estas ideas.

Ante las dos opciones que plantea la actividad, si los alumnos aceptan que llegue luz al ojo procedente de la bombilla encendida y, sin embargo, se muestran reticentes a aceptar que del objeto iluminado salga luz que llegue al ojo para ser visto, entonces poseen dos explicaciones de la visión según el tipo de objeto que es visto, aspecto éste característico de la epistemología espontánea. El profesor, llegado este punto, debe hacer explícita una de las características esenciales de la epistemología científica como es la búsqueda intencionada de explicaciones unitarias o universales a los fenómenos naturales. Así pues, siguiendo esta intención, que reiteradamente ha producido éxitos en el proceso de construcción de la ciencia, nos llevará a preguntarnos si los objetos que vemos emiten luz, como la bombilla, y por eso los vemos. Con esa intención está prevista la experiencia que se propone realizar en la actividad siguiente. El resto de interrogantes se abordarán en actividades sucesivas.

*A.4. Ciudad observaciones habituales que puedan sugerir que los objetos que son iluminados emiten, a su vez, luz. Diseñad experiencias sencillas realizables en el aula para contrastar esta hipótesis anotando e interpretando las observaciones.*

A partir de las propuestas de los alumnos, es posible sugerir la realización de la experiencia que se muestra en la figura del margen en la que con una linterna y un grupo de cartulinas de diferentes colores, podemos observar que la cartulina blanca (que actúa de pantalla) se ilumina con el tono del color de la cartulina hacia la que apunta la linterna (conviene realizar la experiencia en una sala oscurecida).



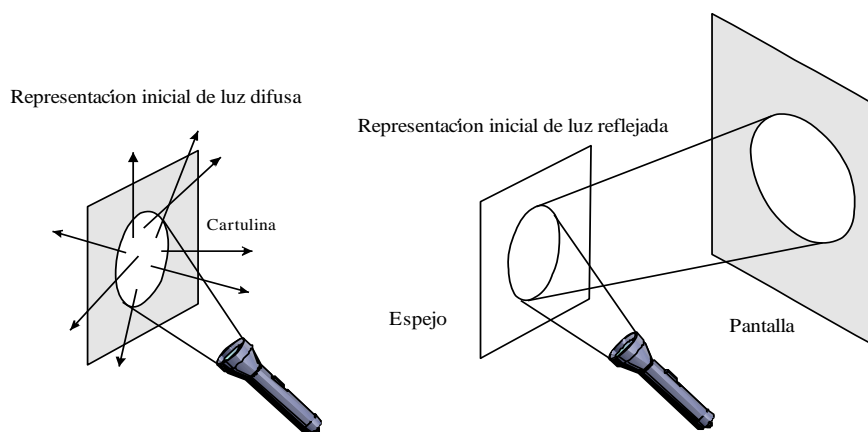
## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Esta experiencia tiene la intención de “convencer” a los alumnos de que una superficie iluminada (si no es perfectamente negra) difunde algo de luz. Se puede observar que la pantalla blanca enfrentada a una cartulina roja se colorea con un tono rojo cuando la segunda recibe luz “blanca” de la linterna. Si cambiamos la cartulina roja por otra verde, el color de la pantalla se vuelve verde. En cambio, cuando se enfrenta a la luz de la linterna una cartulina negra o un objeto negro rugoso, sin brillos, apenas podemos apreciar iluminación en la que hace de pantalla, mientras que cuando la cartulina a la que apunta la luz de la linterna es blanca, la pantalla recibe la iluminación máxima.

La observación de la pantalla blanca iluminada por la luz difundida suele ser expresada en el lenguaje de los alumnos con frases como: “la luz de la linterna ha rebotado en la cartulina de color y ha llegado a la otra”. Debemos llamar la atención, entonces, sobre el hecho de que:

El tono de color que observamos no es el de la luz de la linterna, sino el de la cartulina donde impacta su luz, que en el caso de iluminar una cartulina negra, la pantalla no recibe ningún tipo de luz y, por el contrario, en el caso de iluminar una cartulina blanca, la pantalla recibe máxima iluminación sin modificar el tono de color blanco con que se ve.

Por otro lado, para diferenciar la luz **difundida** de la luz **reflejada**, podemos sustituir la cartulina por un espejo plano y comprobar que la luz reflejada en el espejo solo ilumina la cartulina blanca en una zona circular perfectamente delimitada de la misma, mientras que la luz difundida alcanzaba a toda la cartulina blanca, con más o menos intensidad, por lo que la luz emitida por los objetos iluminados no tiene una sola dirección de propagación. Así pues, la idea que suele ser expresada como “rebote” está más en concordancia con el fenómeno observado en la reflexión especular y no con el de la reflexión difusa. Estas precisiones serán, por el momento, suficientes para el objetivo perseguido.



A partir del análisis realizado debemos concluir (y los estudiantes anotarán esta conclusión en sus cuadernos de trabajo basándose en las observaciones realizadas) que podemos clasificar los cuerpos que vemos en:

**a) Fuentes luminosas primarias**, cuando se produce en ellos mismos la luz que emiten (bombillas, estrellas, hogueras, pantallas de televisión,...).

**b) Fuentes luminosas secundarias**, si la luz sale de ellos solo cuando están siendo iluminados.

**A.5.** *Explicad cómo es posible que podamos ver en el interior de una habitación en un día totalmente nublado cuando se abre una ventana orientada hacia el norte.*

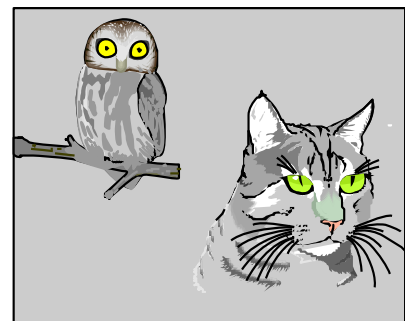
El objetivo de esta actividad es poner a prueba las conclusiones obtenidas y considerar a la atmósfera como fuente luminosa secundaria. El profesor puede plantear otras cuestiones para apreciar el papel difusor de la atmósfera como ¿qué ocurriría si el aula estuviese en la Luna y la luz del Sol no incidiera directamente sobre las ventanas?, o ¿por qué la sombra de los astronautas al andar sobre la Luna es totalmente negra y la de una persona sobre la Tierra no?

Así, pues: no solo las fuentes primarias emiten luz, que ha de llegar al ojo para poder ser vistas, sino que también lo hacen el resto de objetos que vemos (como la manzana de la A.3), que han de ser considerados como fuentes secundarias de luz.

Cabe plantearse ahora si el ojo emite algo con la mirada para ver los objetos. Esta es la segunda idea de sentido común que debemos someter a prueba. Dicha idea también fue una hipótesis defendida por algunos filósofos de la cultura griega y está apoyada, entre otras razones, en el hecho de que para ver algún objeto, el ojo debe dirigir la mirada hacia él y enfocarlo para ver nítidamente, es decir, se realiza un esfuerzo que procede del interior del ojo. Sin embargo, esta idea fue cuestionada por muchos otros pensadores en base a experiencias cotidianas.

**A.6.** *Si la visión fuera debida a que miramos, simplemente, o a que cuando miramos “algo” sale del ojo ¿por qué no vemos cuando estamos en la oscuridad total?*

**A.7.** *Muchas personas opinan que los ojos de los gatos, de los búhos y de algunos otros animales emiten “algo” y por eso pueden ver en la oscuridad. Y que, incluso, esa es la razón por la que podemos ver sus ojos en las noches oscuras. Argumentad a favor o en contra de estas ideas.*



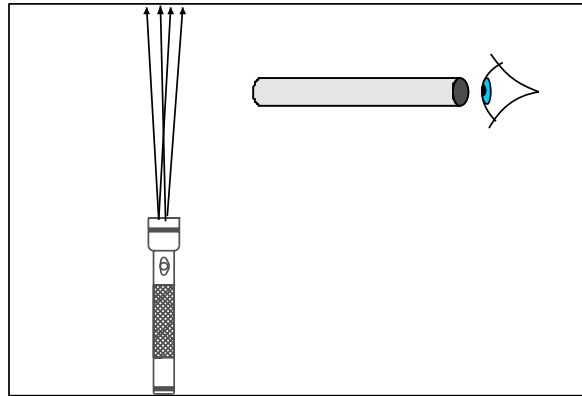
En estas dos actividades se tiene la oportunidad de reflexionar sobre qué significa "oscuridad total" y desmontar algunos mitos según los cuales algunos animales que pueden ver en la noche lo hacen sin que llegue luz a sus ojos. El profesor puede, además, proponer que se escriban frases del lenguaje coloquial en las que parezca que algo sale del ojo, como: "hay miradas que matan" o "échale una mirada a esto" También hay personajes de ficción muy conocidos (como Superman) que emiten "rayos luminosos" por los ojos, capaces de fundir metales o enormes masas de hielo. Se trata, incluso, de una idea recogida ya en la antigua mitología griega: "Al capturar a la Medusa, Perseo empleó su escudo como espejo para desviar su mirada cuyo poder dejaba petrificado".

De acuerdo con las reflexiones anteriores ha de quedar claro que, a partir de ahora, siempre que se dibujen flechas entenderemos con ello que estamos representando la luz emitida por los objetos, y para indicar que el observador está mirando, bastará simplemente con que el ojo esté dibujado encarado hacia el objeto.

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

La tercera idea sobre la que debemos reflexionar es que todas las fuentes luminosas (tanto primarias como secundarias), es decir, todos los cuerpos que vemos, emiten luz que se propaga en líneas rectas (rayos) en todas las direcciones.

**A.8.** Cuando miramos a través de un tubo hacia la luz que emite una linterna o un puntero láser en una sala, solo vemos la pared de enfrente. Sin embargo, si en las proximidades de la linterna echamos humo o, mejor, un poco de polvo de tiza (por ejemplo sacudiendo el borrador de la pizarra), podemos ver unas “estelas” de luz.



Realizad la experiencia y contestad las cuestiones: a) ¿se ve la luz?, b) ¿qué es lo que vemos realmente?, c) ¿qué representan los rayos de luz?

En la actividad propuesta, se presenta una experiencia sencilla que se puede realizar en clase con una simple linterna y una cartulina enrollada formando un tubo por el que mirar. Con ella tratamos de llamar la atención sobre los rayos de luz que dibujamos, los cuales únicamente son líneas ideales de cada una de las direcciones de propagación de la luz, que no son visibles y que lo que vemos al mirar por el tubo son las partículas de polvo, si las hubiera, que al estar iluminadas difunden la luz, parte de la cual llega al ojo (por eso vemos esas partículas). No obstante, los dibujamos como líneas rectas, lo que, de acuerdo con la estrategia seguida, deberá ser sometido a contrastación experimental tal y como se propone en las actividades siguientes.

Dado que la estrategia diseñada para construir un modelo de visión pasa por la necesidad de disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado para la luz, huiremos de experiencias que puedan reforzar ideas alternativas como las que aparecen en numerosos de libros de texto escolares en las que, debido a la difusión de las partículas de polvo, se hace “visible” un haz de luz láser, o aquellas otras en las que el haz de luz de una fuente luminosa se hace pasar por una rendija e ilumina una estrecha porción de la mesa. Recientemente, se ha considerado que el “rayo materializado” (o hacer “visible” la luz) es un detalle “crítico” sobre el que hay que actuar con precaución en la práctica educativa y que los profesores descuidan frecuentemente sus riesgos y efectos adversos.

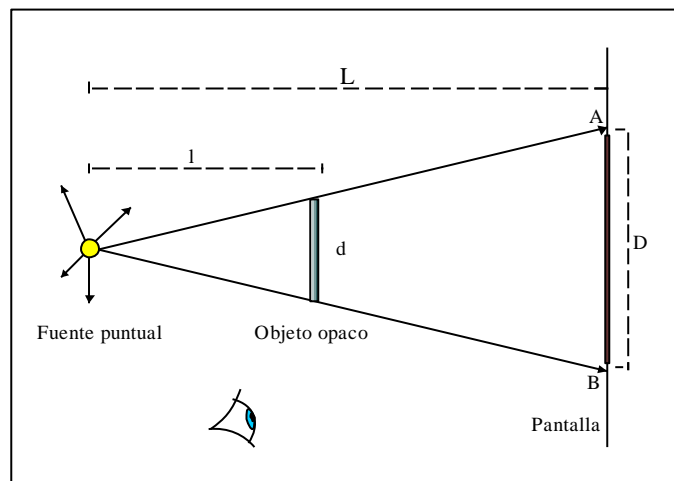
**A.9.** Citad fenómenos habituales que puedan interpretarse como consecuencia de la propagación rectilínea de la luz.

De entre los fenómenos citados, resaltaremos la formación de sombras, que será objeto de las siguientes actividades.

Hemos aceptado que fuentes primarias y secundarias emiten luz en todas las direcciones y hemos interpretado algunos fenómenos como consecuencia de la propagación rectilínea de ésta, pero la forma en cómo se representa la propagación de la luz puede ser más o menos compleja, por lo que analizaremos en primer lugar el caso más sencillo, el de una fuente puntual, y, posteriormente, estudiaremos la propagación de la luz en fuentes extensas, de tamaño apreciable.

**A.10.** *Iluminando un cuerpo opaco con una fuente luminosa puntual podemos ver una sombra sobre una pantalla situada detrás de él, ¿qué forma tendrá la sombra? ¿qué tamaño tendrá? Diseñad y realizad una experiencia para probar vuestras hipótesis.*

La experiencia propuesta en la actividad es fácil de realizar oscureciendo el aula y utilizando materiales sencillos. Como fuente aproximadamente puntual se puede usar una pequeña lámpara de linterna con un portalámparas adecuado conectado a una pila de petaca de 4'5 V.



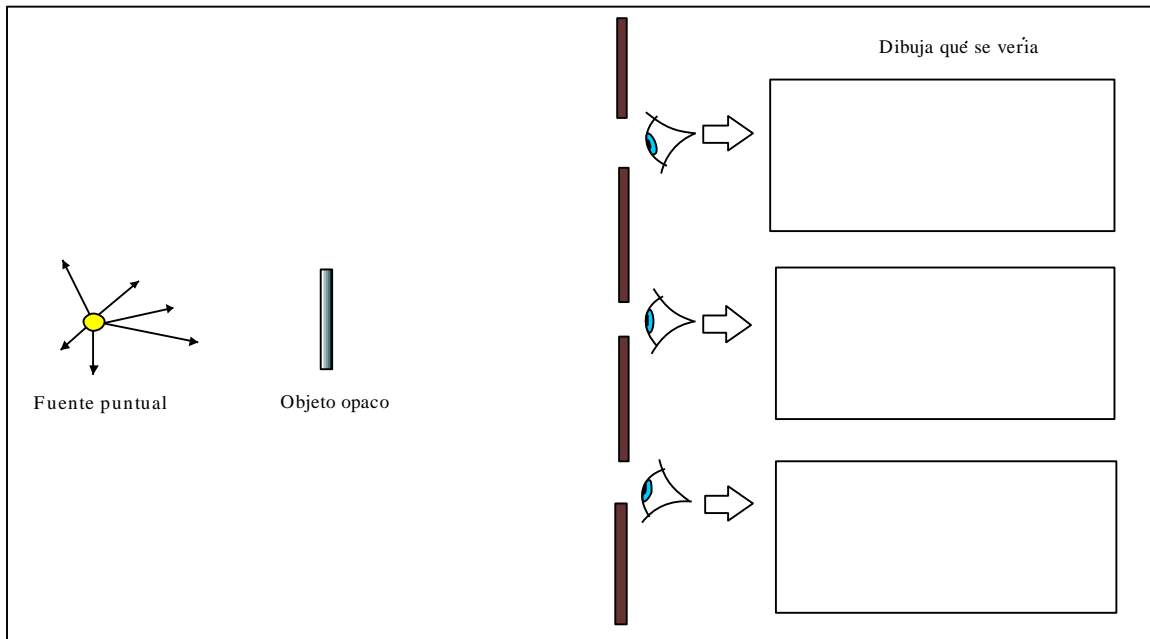
Los alumnos pueden comprobar que alejando o acercando la pantalla se obtienen tamaños de sombra mayores o menores (respectivamente) y que la forma de la sombra será la del perfil del objeto que se enfrenta a la fuente luminosa. Si la luz se propaga en línea recta podremos verificar que los valores de las distancias del objeto y de la sombra a la fuente y los tamaños de ambos cumplen el teorema de Tales de triángulos semejantes:

$$\frac{D}{d} = \frac{L}{l}$$

Dado que existen cuatro magnitudes interdependientes a variar, se les puede sugerir que comprueben esa relación dejando el objeto opaco y la fuente luminosa en una posición fija y variando, únicamente, la posición de la pantalla. De esta forma, los valores  $d$  y  $l$  son los mismos en todos los casos y solo se deberá medir, para cada posición de la pantalla, la anchura de la sombra,  $D$ , y la distancia de la pantalla a la fuente,  $L$ .

**A.11.** *Suponed que en una sala de paredes negras situamos el ojo en los distintos agujeros señalados de la pantalla, ¿qué se verá desde cada uno de ellos cuando la fuente puntual emita luz?*

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_



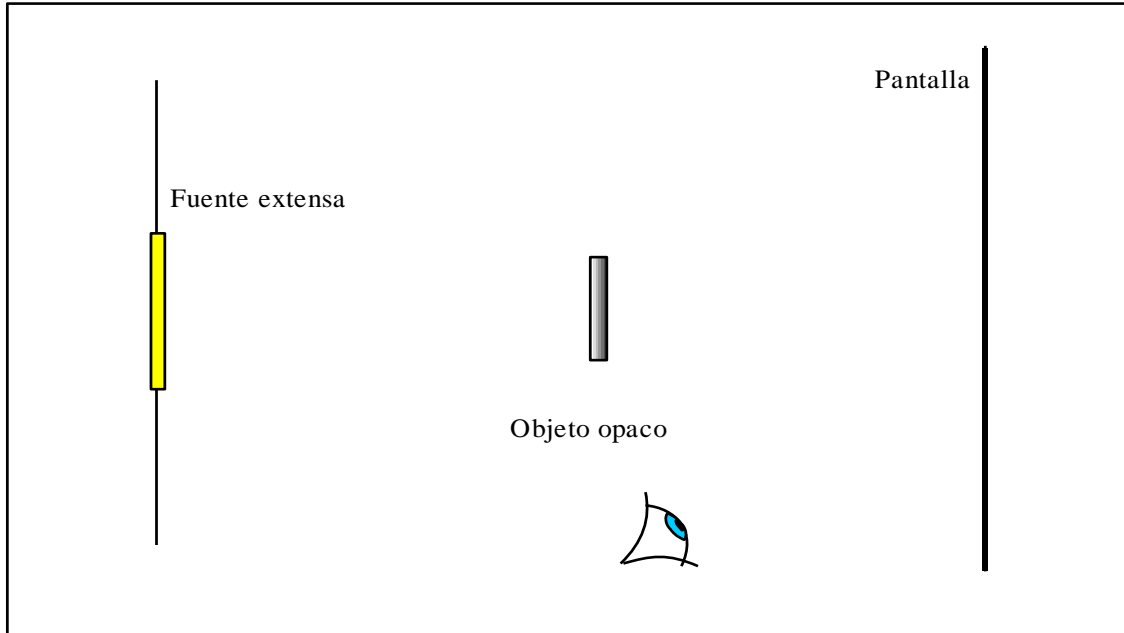
Dada la resistencia de los alumnos a aceptar la visión como un fenómeno que se produce al incidir luz en el ojo procedente de una fuente luminosa (primaria o secundaria) y a pensar que la propia luz se ve, esta actividad permitirá poner a prueba los conocimientos elaborados en las anteriores. La actividad se puede proponer a modo de autoevaluación para que se conteste individualmente. Hay que darse cuenta que: desde el agujero central no se ve nada, no se ve el objeto porque desde él no se envía luz hasta el ojo al no estar iluminada la parte enfrentada al observador; desde los agujeros superior e inferior se ve la fuente pero no el rayo de luz y que, para predecir estos hechos, es necesario realizar trazados de rayos. Corregida la actividad y analizados los errores, los alumnos pueden tener ocasión de valorar el avance conseguido si realizan encuestas a compañeros de otras clases o a sus familiares, cuyas respuestas suelen coincidir con las de “sentido común”.

Una vez discutidos estos aspectos claves, podemos aprovechar la actividad para introducir el concepto de haz divergente de luz. Es de esperar que las representaciones gráficas que hagan los alumnos consistan en un único rayo que pasa por el agujero por el que se ve la fuente. Si, como hemos avanzado, el rayo solo representa una de las direcciones de propagación de la luz, sería conveniente trazar dos rayos que pasen por los límites del agujero, por lo que habremos seleccionado un **haz divergente de luz** (cónico) que representa, mejor que un único rayo, la luz que entra por él. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, las sombras son causadas por fuentes luminosas extensas, de un tamaño apreciable:

*A.12. Si la fuente luminosa fuese un tubo fluorescente situado en la posición que señala el esquema, ¿cómo será la sombra que veremos en la pantalla? Trazad los rayos que creáis necesarios para justificar la respuesta y realizad la experiencia para confirmar las predicciones.*



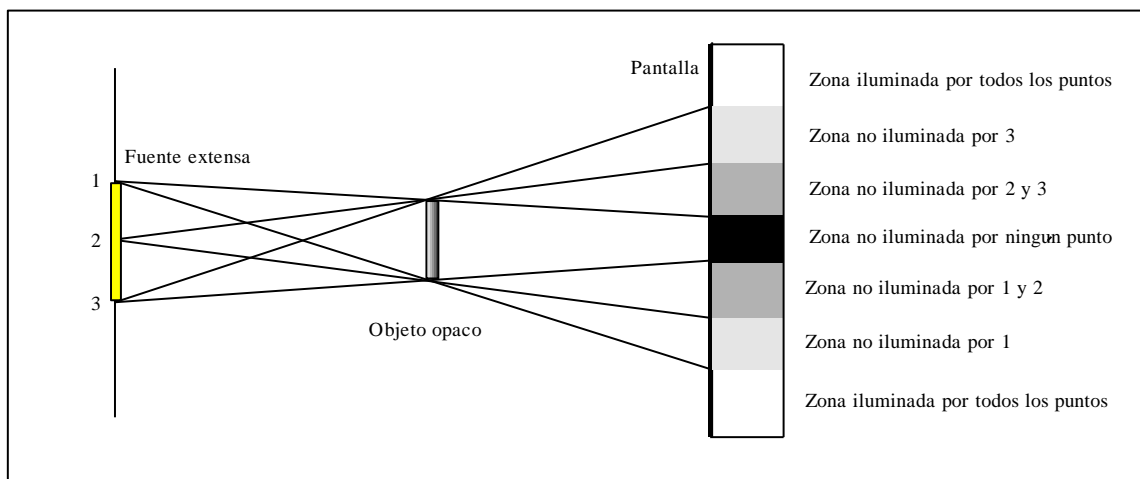
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?



Cuando se utilizan fuentes extensas de luz, las predicciones que se hagan y los trazados gráficos necesitan de una hipótesis suplementaria: considerar la fuente como conjuntos de infinitas fuentes puntuales. Si desde varios puntos de la fuente (es conveniente tomar los extremos) se trazan los haces de luz que el objeto opaco impide que lleguen a la pantalla, podremos formar áreas de sombra que se solapan.

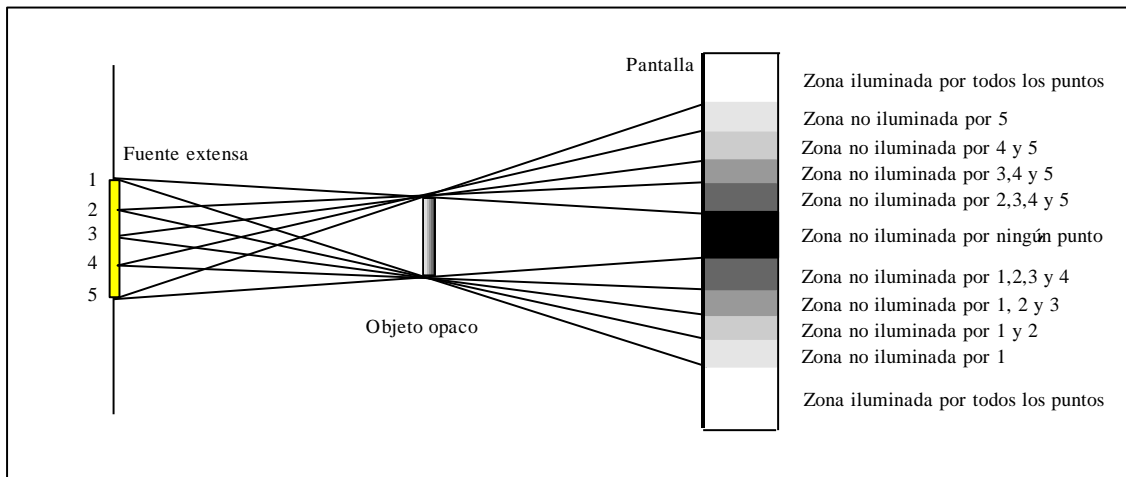
Para ayudar a comprender la formación de una penumbra continua podemos realizar trazados gráficos suponiendo que la fuente extensa está formada por conjuntos discretos de puntos (por ejemplo, primero solo 3 y luego solo 5) e inferir, a partir de ellos, lo que se observará al considerar la fuente extensa como un conjunto ilimitado de puntos. Si lo hacemos así, es sencillo construir los siguientes esquemas:

a) Fuente extensa formada por tres puntos luminosos

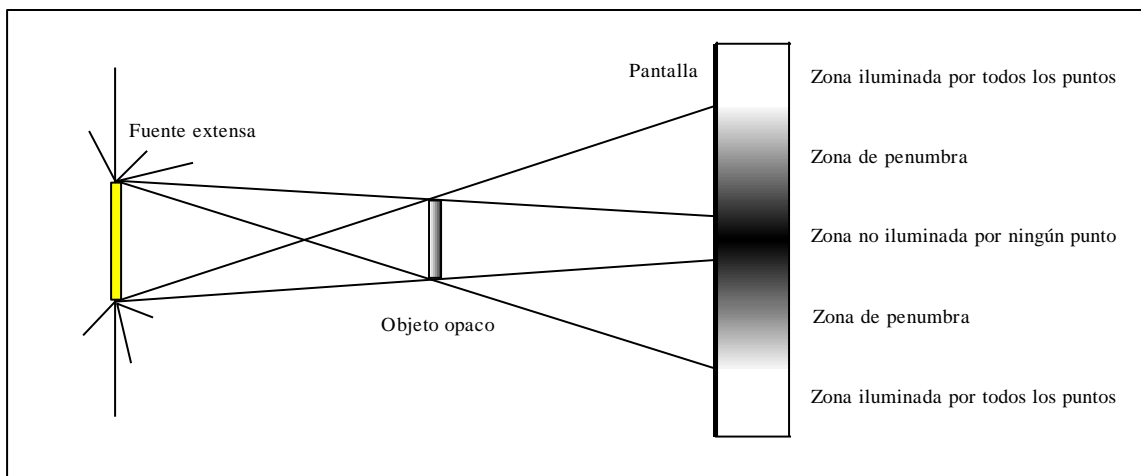


10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

b) Fuente extensa formada por cinco puntos luminosos

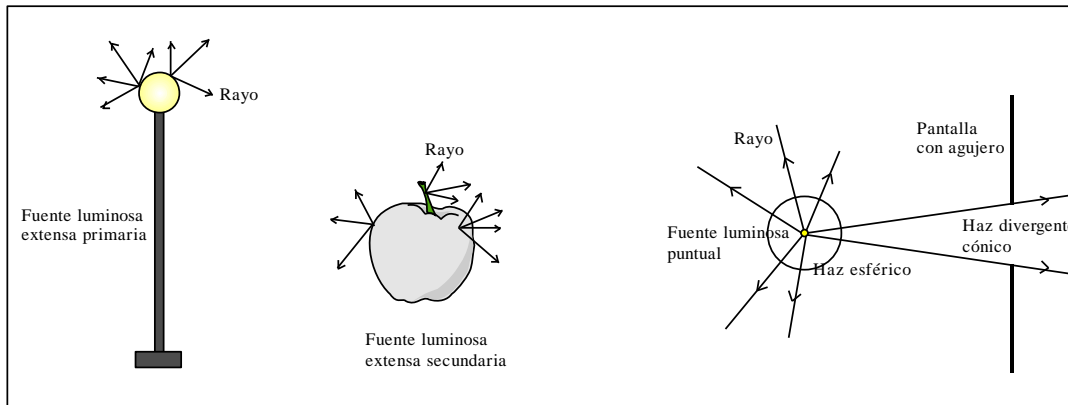


c) Fuente extensa considerada como infinitos puntos luminosos



En el último esquema se observa que en la zona de la pantalla donde se solapan todas las áreas de sombra producidas por cada punto, la sombra será total y, en el resto, se formará un área de penumbra con mayor o menor grado de oscuridad ya que en esa área hay zonas que son sombra para algunos puntos de la fuente y no para otros. Es posible contrastar las predicciones anteriores de forma experimental con grupos de lámparas de las que se usan en los adornos navideños y como fuente extensa un tubo fluorescente de unos 20 cm existente en el mercado. Como objeto opaco se puede utilizar una pieza rectangular de chapa o plástico delante de una pantalla de diapositivas o de la pared.

Según lo realizado hasta aquí, se puede concluir que, a partir de ahora, la representación de la luz emitida desde cada punto será la denominada modelo de "cactus" que aparece en el esquema de abajo. Y que, dado que los rayos dibujados no tienen entidad real, ni representan ninguna parte de la luz que emite la fuente, tiene más sentido físico el concepto de haz de luz. Una fuente puntual emite un haz esférico de luz, pero la parte que pasa por un orificio circular en una pantalla será un haz cónico divergente. En este haz cónico divergente de luz, los rayos trazados solo representan los límites del haz de luz.



Otra consecuencia de la hipótesis de propagación de la luz sobre la que hay que reflexionar es si su propagación es instantánea o la luz es una entidad que viaja a través del espacio con una rapidez muy grande aunque no infinita.

Galileo, en 1638, diseñó una experiencia basada en determinar el tiempo que tarda la luz que emite una hoguera en recorrer la distancia que separa dos colinas alejadas unos pocos kilómetros. Ni los relojes existentes en esa época, ni los aparatos de detección, eran tan precisos como para medir el tiempo que invierte la luz en recorrer distancias de ese orden. Cuando no se disponen de estos medios técnicos, es necesario recurrir a fenómenos en los que la luz recorra grandes distancias, como las que separan a los planetas. La primera determinación de la velocidad de la luz en el vacío es debida a Roëmer (1676) y se basó en la observación de los eclipses de los satélites de Júpiter. Actualmente se puede determinar, de forma directa, la velocidad de propagación de la luz en el vacío gracias a un espejo que los astronautas de una las misiones Apolo situaron en la superficie lunar.

**A.13.** *Un pulso de luz láser es emitido desde la Tierra en dirección a un espejo colocado en la superficie lunar, después de 2'56 segundos se detecta en la Tierra la luz reflejada en el espejo. Sabiendo que la distancia media de la Tierra a la Luna es de 384000 km, determinad un valor aproximado de la velocidad de la luz en el vacío.*

**A.14.** *En una galaxia tan lejana que no se puede ver a simple vista colapsó una estrella y se formó una supernova que emitió una luz tan intensa que, mil años después, dicha supernova, pudo ser observada desde la Tierra durante varios días. ¿Dónde se encontraba la luz emitida durante los mil años que tardó en ser vista la supernova desde la Tierra? ¿A qué distancia ocurrió ese fenómeno?*

Mediante las dos actividades anteriores es posible determinar, de forma sencilla, la velocidad de propagación de la luz en el vacío y reflexionar sobre alguna consecuencia de ese valor tan elevado. En primer lugar, a efectos de la visión de los objetos ordinarios, un valor tan grande de la velocidad de la luz es equivalente a que su propagación sea prácticamente instantánea, pero deja de ser así cuando consideramos la visión de estrellas o galaxias. En segundo lugar, aunque al llegar aquí ya se ha tenido oportunidad de tratar la representación de la luz, es conveniente recordar que la investigación didáctica ha puesto de manifiesto que los alumnos creen que únicamente hay luz en las fuentes o en sus proximidades, por lo que considerar que la luz puede viajar en el espacio cuando la fuente ha desaparecido y, todavía no ha llegado a nosotros para poder ver el fenómeno, supone considerarla como una entidad física separada de las fuentes y del ojo y que tiene existencia independiente en el espacio, lo que hace que pueda ser objeto de estudio en sí misma por parte de la física.

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

En el texto que se da a continuación se describe el método usado por Roëmer para la determinación de la velocidad de la luz, su lectura aporta una aproximación a la dificultad histórica para determinar la velocidad de propagación de la luz en el vacío.

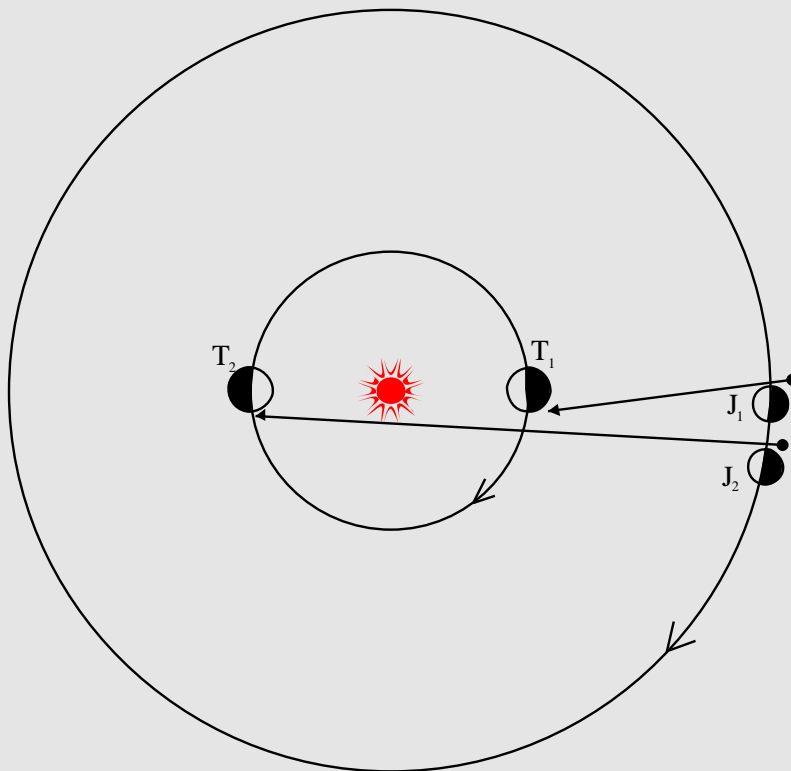
**Método de Roëmer para determinar la velocidad de propagación de la luz en el vacío**

La órbita del planeta Júpiter alrededor del Sol está situada a una distancia unas cinco veces mayor que la del planeta Tierra y con un período de poco menos de 12 años. Según estos datos la Tierra se encuentra, en algunos momentos, más cercana a Júpiter que en otros.

Con un telescopio de aficionado se pueden distinguir cuatro puntos brillantes en las proximidades del planeta que se ocultan detrás de él cada cierto tiempo. La condición de satélites es debida a Galileo quien avanzó que se trataba de “lunas” con giro alrededor del planeta. Se conocen con los nombres de: Io, Europa, Ganímedes y Calisto y, aunque actualmente se conocen otros dieciséis satélites, éstos son los de mayor tamaño.

Cuando la Tierra está situada en su posición más próxima a Júpiter ( $T_1$  y  $J_1$ ), los eclipses de Ganímedes se suceden cada 7'155 días (7 días, 3 h, 43 min. y 12 s). Después de 25 eclipses han transcurrido 178'875 días (casi, medio año), por lo que la Tierra se encuentra, aproximadamente, en la posición opuesta de su órbita,  $T_2$ , mientras que Júpiter, que apenas se ha desplazado  $15^\circ$ , se encuentra en  $J_2$ .

Si el eclipse observado cuando los planetas estaban en  $T_1$  y  $J_1$  se produce el día 1 a las 0 h, el eclipse número 25 de ese satélite debería producirse, en principio, 178'875 días después ( $7'155 \cdot 25 = 178'875$ ), cuando los planetas se encuentren en  $T_2$  y  $J_2$ . Sin embargo, desde la Tierra en esa posición, se observa un retraso de 16'6 minutos, es decir el eclipse que debía producirse a las 21 horas del día 178, ocurre, en realidad a las 21 h y 16'6 min. del día 178. ¿A qué podría ser debido ese retraso?



10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

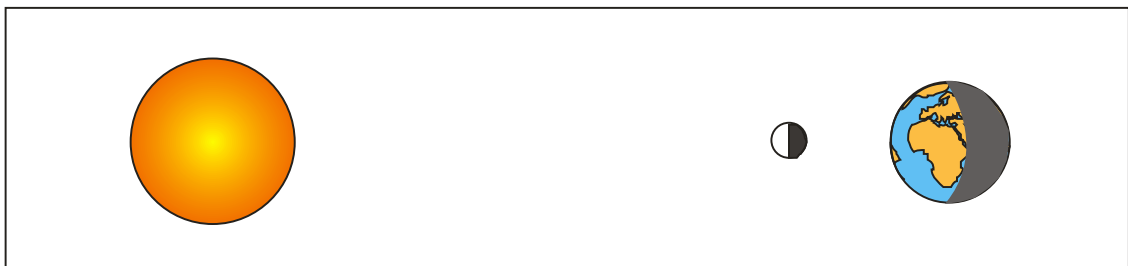
Roëmer lo interpretó argumentando que la luz no se propaga instantáneamente y, por tanto, cuando se observa el eclipse desde  $T_1$  el fenómeno se percibe con un cierto retraso  $\Delta t$  y cuando se observa desde  $T_2$  con otro retraso  $\Delta t'$ . Este segundo retraso será tanto mayor cuanto mayor sea la separación entre ambos planetas. La distancia mayor, en este segundo caso, recorrida por la luz es aproximadamente el diámetro de la órbita terrestre, es decir, unos 300 millones de km ( $3 \cdot 10^8$  km) y dado que desde  $T_2$  el eclipse se observa 16'6 min. (1000 s) más tarde que desde  $T_1$ , la velocidad de la luz se puede calcular como:

$$c = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ km}}{1000 \text{ s}} = 300\,000 \text{ km/s}$$

Dado que en tiempos de Roëmer el valor del diámetro de la órbita de la Tierra era considerado algo menor que el actual, se obtuvo un valor para la velocidad de propagación de la luz en el vacío de unos 220 000 km/s que, aunque es un valor aproximado, dio una idea de su magnitud. Sin embargo, el resultado no fue aceptado por la comunidad científica hasta que cincuenta años después, Bradley, interpretó otros fenómenos astronómicos bajo el supuesto de la no propagación instantánea de la luz.

Podemos poner a prueba lo que hemos aprendido en los trazados gráficos anteriores al enfrentarnos con la explicación de fenómenos naturales que, como los eclipses de Sol y de Luna, han llamado poderosamente la atención a las personas de diferentes culturas desde la antigüedad.

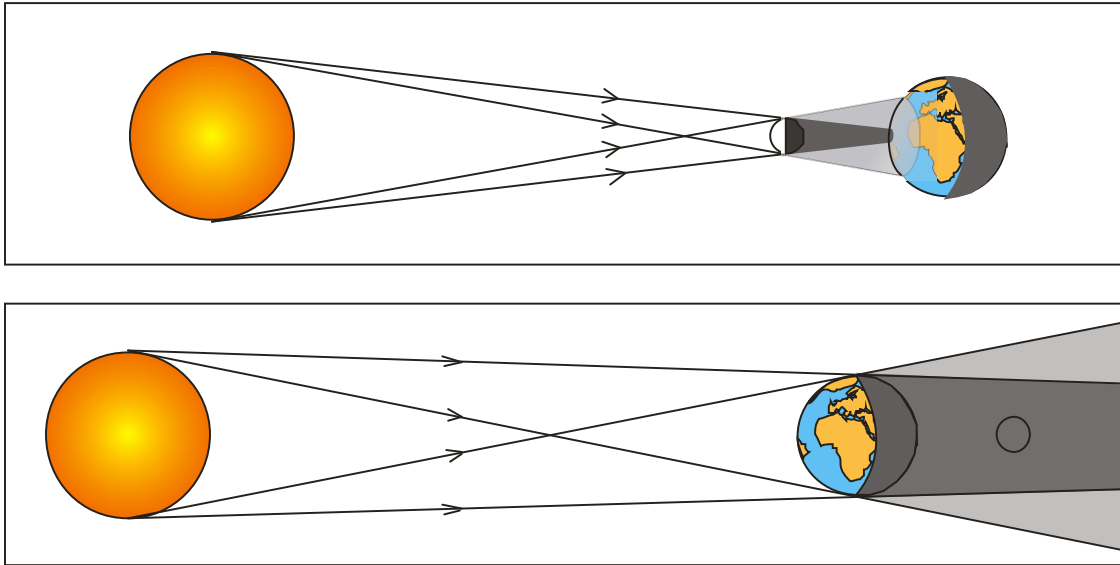
**A.15.** En los esquemas siguientes se representan el Sol, la Tierra y la Luna en dos posiciones relativas distintas en el mismo plano. Realizad trazados de rayos para explicar los eclipses de Sol y de Luna, señalando las zonas de la Tierra donde se verán eclipses parciales de Sol



La realización de actividad anterior permite comprobar la utilidad de lo aprendido para interpretar tanto los eclipses de Sol como de Luna. Como puede comprobarse existen unas zonas del planeta (sombra) en las que el eclipse de Sol es total, mientras que en otras (pe-

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

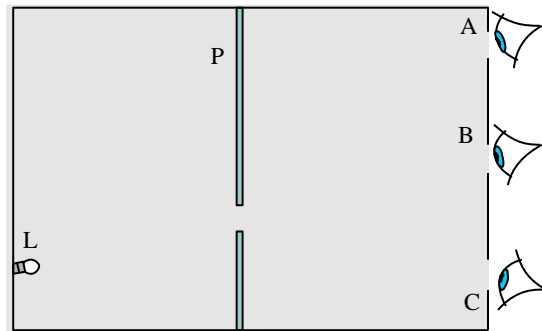
nombra) sería parcial y en el resto no se apreciaría. En cuanto al eclipse de Luna, éste se produce cuando la Luna entra en el cono de sombra de la Tierra.



Finalmente, se puede proponer alguna actividad de autoevaluación, como las siguientes:

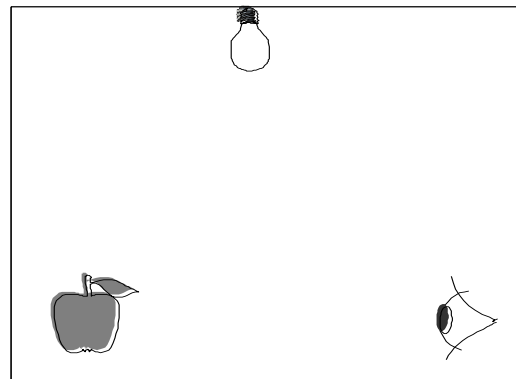
**A.16.** En una caja de paredes negras se instala una pantalla negra con un orificio y una pequeña lámpara, que podemos considerar puntual, como se indica en el esquema:

- ¿Qué podremos ver al mirar por los orificios antes de conectar la lámpara (L)?
- Una vez conectada la lámpara, ¿qué se podrá ver al mirar por los orificios exteriores hacia el agujero de la pantalla P?



**A.17.** A modo de recapitulación de lo tratado hasta aquí, explica cómo vemos un objeto situado en una habitación iluminada. Para ello:

- Dibujad un diagrama de rayos en el cuadro de la derecha
- Enunciad las hipótesis que hemos formulado para elaborar el modelo de visión referidas a las fuentes luminosas, a la propagación de la luz y al papel del ojo; dando argumentos justificativos que apoyen esas hipótesis.
- Plantead los nuevos interrogantes que vamos a abordar a continuación.



## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

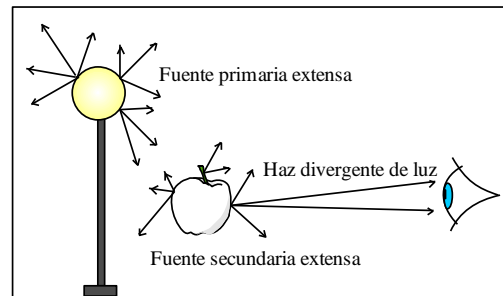
Estas dos últimas actividades forman parte del sistema de evaluación del tema. En la primera se intenta que los alumnos se hagan conscientes de los aspectos más relevantes del modelo de visión tratado hasta ahora:

- La visión se produce por recepción en el ojo, de luz procedente de las fuentes luminosas (primarias o secundarias).
- La luz se propaga en líneas rectas en todas las direcciones desde cada punto de la fuente y no es visible en sí misma.

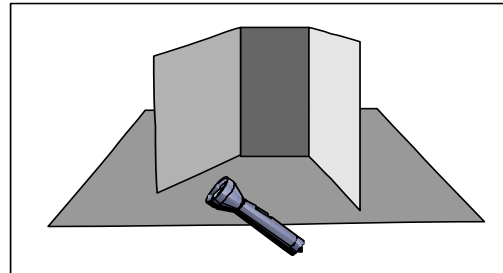
Una vez completadas las respuestas (con la bombilla desconectada no se ve nada y al conectarla, solo se ve la fuente de luz desde B y nada desde los otros), cada alumno podrá corregirse si se construye el dispositivo propuesto en la actividad, lo cual puede hacerse fácilmente con una simple caja de cartón, una pequeña bombilla, una pila y un interruptor en el exterior de la caja.

En la segunda (de recapitulación), se han de incluir los siguientes aspectos:

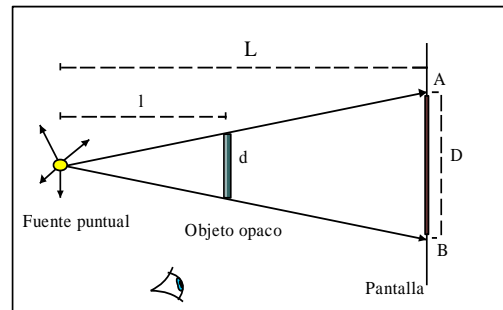
a) Para explicar cómo vemos un objeto en una habitación iluminada, hemos debido suponer que la luz procedente del objeto debe llegar hasta el ojo. El ojo es, pues un receptor de haces divergentes de luz procedentes de cada punto del objeto. El esquema del margen representa cómo vemos un objeto en una habitación iluminada



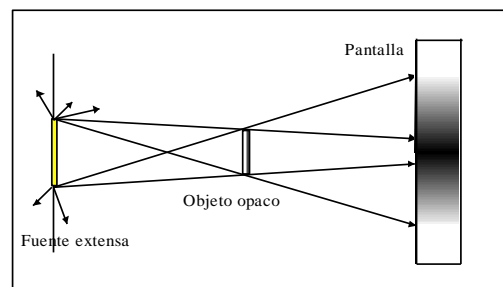
b) Los objetos iluminados son fuentes secundarias de luz. Esta hipótesis está basada en el hecho de ver con el mismo tono de color una pantalla situada enfrente de una cartulina de color iluminada directamente. Para ver los objetos el ojo no emite nada. Ya que, si así fuera, sería posible ver en la oscuridad total, lo cual sabemos que no ocurre.



c) La luz se propaga en línea recta y en todas las direcciones desde cada fuente puntual. Esta hipótesis está basada en la observación de las sombras que se forman en una pantalla cuando se interpone un cuerpo opaco entre la fuente y la pantalla. La sombra es de la misma forma del objeto y del tamaño que cabe esperar si la luz se propagara en línea recta.



d) Si el objeto que vemos es extenso podemos considerarlo como un conjunto de fuentes puntuales. Esta hipótesis fue realizada para explicar la formación de sombras y penumbras que se forman en una pantalla cuando se interpone un objeto opaco entre la fuente y una pantalla.



## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

e) Para poder ver, al ojo le llega un haz divergente de luz procedente de cada punto del objeto. El rayo de luz no es nada de la propia luz ya que solo señala una de las direcciones de propagación de la luz.

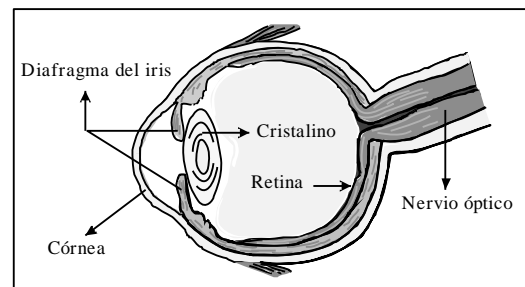
f) La luz viaja en el vacío a una velocidad de 300 000 km/s. Esta velocidad es tan grande que, en los fenómenos habituales de visión, no somos capaces de detectar ningún tiempo entre la salida de la luz desde el objeto y su llegada al ojo para ser visto.

Para profundizar en el modelo de visión de los objetos y explicar qué es necesario para ver bien, ahora, deberemos plantearnos: ¿qué “hace” la luz en el ojo para poder ver los objetos y distinguir su forma y su tamaño?, es decir, ¿cómo funciona el ojo humano?

### 1.2 ¿Cómo funciona el ojo humano?

En nuestro objetivo de elaborar un modelo de visión que explique cómo vemos los objetos hemos debido ampliar la consideración de fuentes luminosas a los objetos iluminados. Además, hemos debido idealizar las fuentes luminosas extensas como conjuntos de puntos que emiten luz en todas las direcciones, hemos concebido la luz como una entidad física que viaja en el espacio a 300 000 km/s y que la luz misma no es visible. Para acabar de completar el modelo de visión debemos abordar otras preguntas que ya planteamos en el índice, estas son: ¿cómo se comporta la luz en el interior del ojo humano?, o lo que es lo mismo, ¿cómo funciona el ojo humano?

*A.18. Idead algún método que permita conocer cómo funciona el ojo humano, es decir, que permita conocer cuál es el comportamiento de la luz en su interior para explicar cómo vemos el tamaño y la forma de los objetos.*

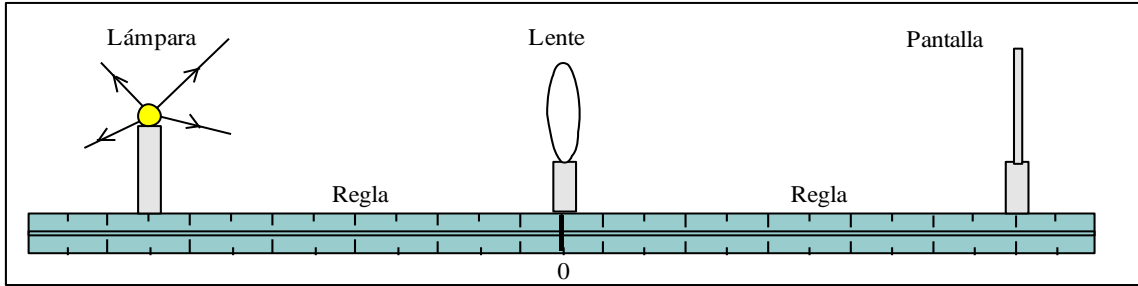


Al estudiar la fisiología del ojo se pueden encontrar dos elementos ópticos con los cuales modelizar su funcionamiento: una lente convergente de curvatura variable (el cristalino) y una pantalla (la retina). Con estos dos elementos se puede elaborar un modelo de ojo humano con el que poder estudiar su comportamiento y, aunque es bien sabido que el elemento con más poder refractivo es la córnea, esta simplificación es una buena aproximación para comenzar. El profesor puede describir los componentes del ojo humano a partir de láminas, maquetas, o diseccionando un ojo de vaca o de cordero. Este último método permite aislar el cristalino y reconocer que su comportamiento se asemeja al de una lupa.

*A.19. Explorad el comportamiento de la lente convergente suministrada por el profesor. Para ello realizad un montaje como el siguiente y contestad las cuestiones que se plantean a continuación:*



10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?



a) Buscad la posición donde hay que situar la pantalla para que se vea claramente la imagen de la fuente luminosa. Utilizad una lente convergente delgada ( $f'=10$  cm). Escribid resultados y observaciones en una tabla como la siguiente:

Distancia de la fuente a la lente (cm)	Distancia de la imagen a la lente (cm)
105	
65	
35	
20	
10	

b) Observad el movimiento de la imagen en la pantalla cuando la fuente luminosa puntual se mueve hacia derecha e izquierda y hacia arriba y abajo. Anotad observaciones.

c) Dejando la pantalla fija a 10 cm de la lente y cambiando la lente convergente por otra más gruesa ( $f'=5$  cm), encontrad la posición en la que hay que colocar el objeto para ver la imagen nítida sobre la pantalla.

d) Buscad la imagen de un objeto extenso con forma de **P** y señalad las características de la imagen que vemos en la pantalla.

Una vez modelizado el ojo humano como un sistema óptico formado por una lente convergente y una pantalla, la actividad propuesta pretende familiarizar a los estudiantes con este sistema y reconocer observacionalmente la imagen óptica de un objeto puntual (pequeña bombilla). La realización de las experiencias que se solicitan permite rellenar la tabla anterior y concluir que:

- 1) La lente forma la imagen en la pantalla a distancias cada vez mayores conforme acercamos el objeto desde una posición lejana. Para cada posición del objeto, hay una única posición de la pantalla donde se ve la imagen nítida.
- 2) La lente tiene un límite en su capacidad de formar imágenes. Para la lente suministrada ( $f'=10$  cm), cuando la fuente luminosa puntual (objeto) se coloca a unos 10 cm de ella (en el punto focal o **foco**) se observa un círculo luminoso en la pantalla del mismo diámetro que la lente en cualquier posición de la pantalla. Para distancias menores al foco, al alejar la pantalla, el círculo luminoso se hace cada vez mayor. Por tanto, para distancias del objeto a esa lente iguales o menores a 10 cm, no se puede ver su imagen para ninguna posición de la pantalla.

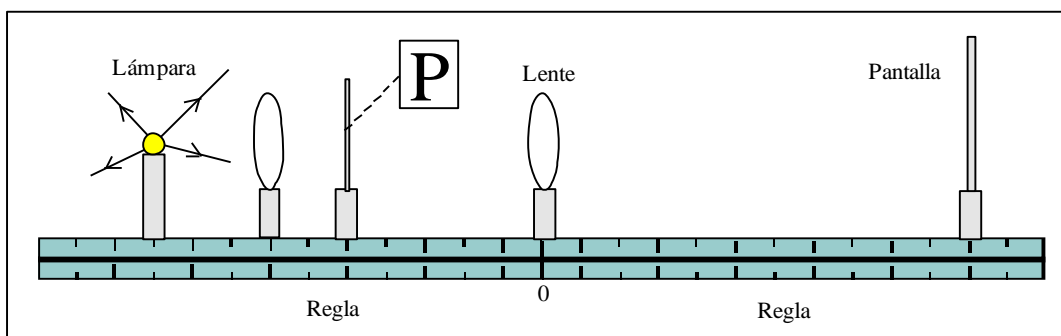
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

- 3) Si en el sistema lente-pantalla dejamos la pantalla fija a 10 cm de la lente, en la que podemos ver la imagen del filamento de la fuente cuando ésta se encuentra muy alejada (100 cm o más) de la lente, y cambiamos la lente por otra de mayor poder de convergencia (más gruesa en su centro), podemos comprobar que, en este caso, para volver a ver la imagen nítida (sin cambiar la distancia entre la lente y la pantalla) hay que acercar el objeto a la lente.

Esta observación será de gran interés, ya que hemos modelizado el ojo humano como un sistema formado por una lente convergente y una pantalla y hemos observado en el primer apartado de esta actividad que, para una lente dada, la posición de la pantalla donde se ve nítida la imagen es única para cada posición del objeto y, dado que en el ojo humano la pantalla (retina) no puede alejarse ni acercarse, para formar la imagen de objetos cercanos aumenta la curvatura del cristalino, se hace más grueso por el centro. Para cada distancia del objeto el cristalino, de forma refleja, cambia su poder de convergencia para formar la imagen justo en la retina, siendo mayor su grosor en el centro cuando enfoca objetos cercanos (acomodación). En general, una persona joven, sin anomalías visuales, puede ver bien acomodando el ojo hasta que el objeto se encuentre a unos 25 cm o incluso menos.

- 4) Las imágenes de los cuerpos extensos se ven invertidas (la parte de arriba se verá abajo y la de la derecha se verá a la izquierda) por lo que la imagen de una **P** será vista como una **d**.

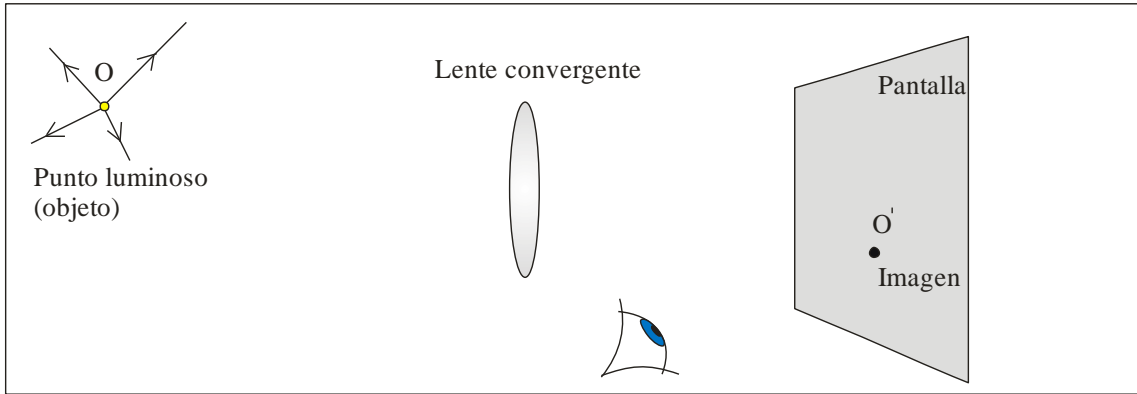
Para el montaje técnico de esta experiencia, se puede utilizar como objeto extenso el dibujo de una **P** en un papel translúcido. Conviene que el objeto esté uniformemente iluminado, para ello situaremos una lente convergente, que actuará de condensadora, próxima a la fuente puntual y antes del objeto, tal y como se propone en el esquema:



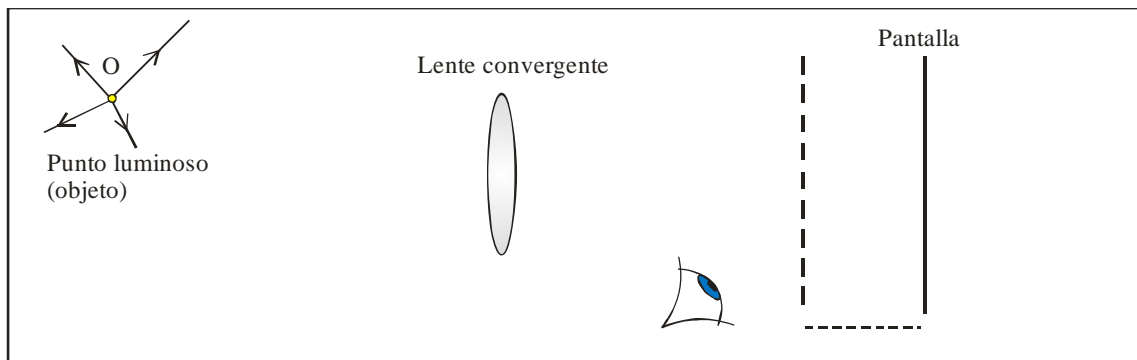
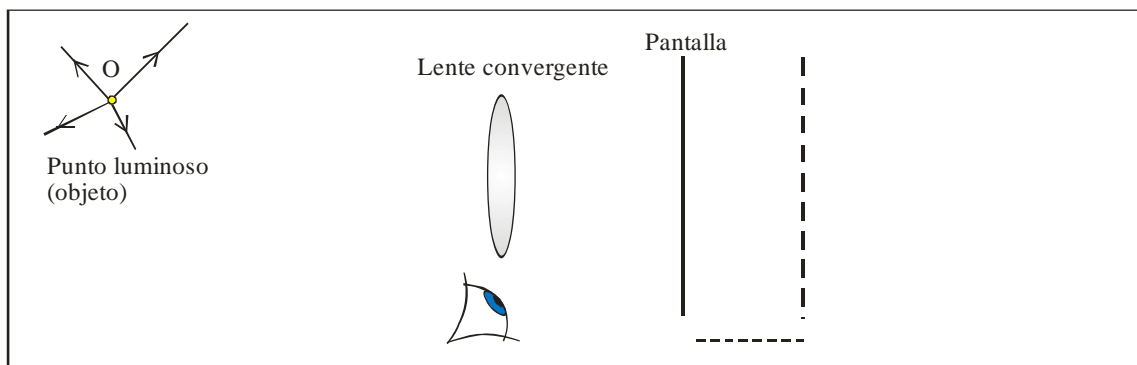
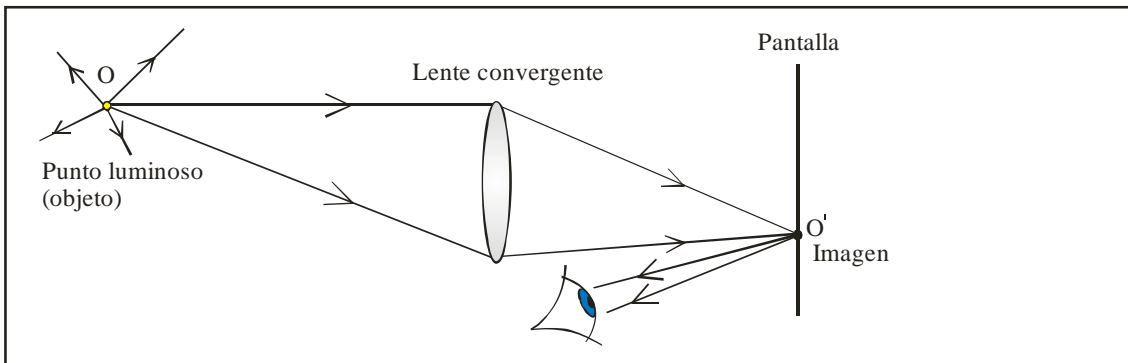
Las observaciones que hemos realizado nos han permitido aproximarnos al funcionamiento del ojo humano pero dado que la luz, en sí misma, no es visible, debemos emitir hipótesis sobre su comportamiento cuando atraviesa la lente convergente y se forma, en algunas condiciones, una imagen óptica en la pantalla. Comenzaremos por el caso más sencillo, cuando el objeto es una fuente luminosa puntual.

*A.20. Emitid hipótesis sobre cómo se comporta la luz emitida por una fuente puntual para que después de atravesar la lente convergente forme una imagen nítida en una pantalla. Realizad un diagrama de rayos y precisad qué es una imagen óptica.*

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?



**A.21.** El primero de los siguientes esquemas representa cómo se forma en una pantalla la imagen de una fuente luminosa puntual. Si mantenemos en la misma posición la fuente puntual y la lente, pero adelantamos y alejamos la pantalla, ¿qué veremos en estas situaciones? Dibujad los diagramas de rayos que expliquen vuestras predicciones.



10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Mediante la primera de las dos actividades anteriores y teniendo en cuenta las observaciones experimentales anteriormente realizadas, los estudiantes plantean que las lentes convergentes concentran la luz emitida por un punto, en otro punto de la pantalla. Si la luz emitida por una fuente puntual era dibujada como haz divergente, después de atravesar la lente debe convertirse en convergente para formar la imagen. En ese esquema es necesario advertir que deben trazar un haz divergente de luz procedente del punto O' hasta el ojo, ya que el ojo ve esa imagen porque se comporta como ese mismo sistema óptico.

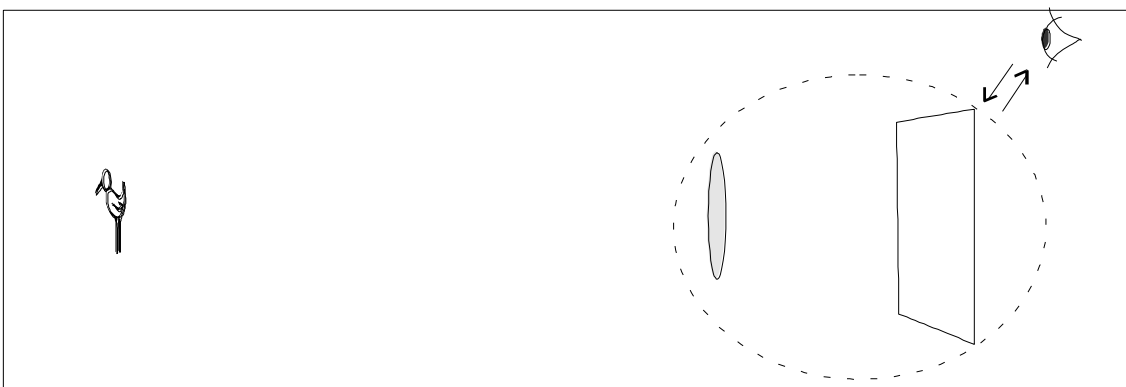
Con los dos trazados gráficos requeridos para la segunda actividad, se pretende que los estudiantes comprendan que la imagen óptica solo se forma para una única posición de la pantalla, lo cual será utilizado con posterioridad para comprender las causas de la miopía, la hipermetropía y la presbicia.

*A.22. En nuestro modelo de ojo, la retina es una pantalla que se encuentra en una posición fija. Explicad, dibujando diagramas de rayos, cómo podemos ver nítidos, objetos situados a diferentes distancias, es decir, cómo es posible que se forme la imagen de un objeto en la retina cuando dicho objeto se encuentra a distintas distancias del ojo.*

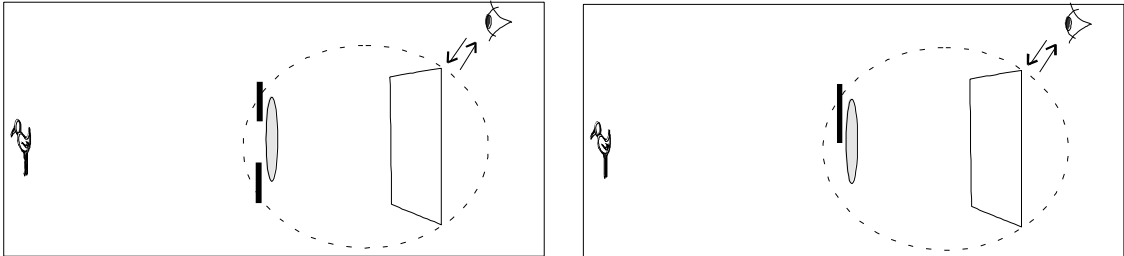
La realización de esta actividad requiere comparar los trazados gráficos de formación de la imagen en un sistema lente-pantalla de distancia dada cuando la lente es poco convergente (su centro es delgado) y cuando la lente es más convergente (su centro es más grueso). En el primer caso el objeto estará alejado y en el segundo más cerca. En estos trazados se simulará el funcionamiento de acomodación del ojo ya que el cristalino es una lente convergente de curvatura variable por lo que se puede formar la imagen en la retina para varias distancias del objeto. Estas representaciones son la explicación de algunas observaciones realizadas en la A.19.

Hasta ahora hemos considerado la formación de la imagen en un sistema lente-pantalla en el caso más sencillo, cuando el objeto es puntual, debemos hacer extensivo estos razonamientos a los casos habituales de objetos extensos.

*A.23. Realizad un diagrama de rayos que explique la formación de imágenes extensas en un sistema lente-pantalla. Explicad con este modelo de ojo humano, cómo podemos apreciar la forma, el tamaño o la lejanía de los objetos que vemos.*



**A.24.** El diafragma del iris regula inconscientemente (dilatando más o menos la pupila mediante un acto reflejo) la cantidad de luz que entra en el ojo humano ¿Cómo afecta a la imagen que se forma en una pantalla un diafragma situado delante de la lente y que tape parte de ella? Realizad diagramas explicativos con los distintos diafragmas que aparecen en los esquemas siguientes.



**A.25.** Diseñad y realizad experiencias para probar que los diafragmas que tapan parte de la lente no afectan a la posición, ni al tamaño de la imagen sino solo a su luminosidad.

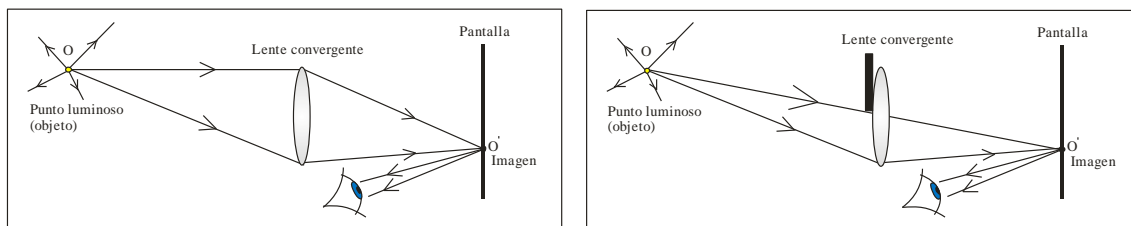
En las actividades anteriores los esquemas del sistema lente-pantalla están envueltos en un círculo de puntos para representar que se trata de la modelización realizada para el ojo humano. Para formar la imagen de un objeto extenso hay que ayudar a los alumnos recordándoles que, para explicar la formación sombras y penumbras con una fuente extensa, debemos idealizarla como un conjunto de fuentes puntuales. Así pues, la imagen de un punto del extremo superior del objeto se formará en la parte inferior de la pantalla (como observamos en la A.19) y la de un punto del extremo inferior del objeto en la parte superior de la pantalla. Dado que el sistema óptico lente-pantalla con que hemos modelizado el ojo humano forma la imagen invertida y, sin embargo, no lo vemos así, es necesario introducir que la sensación de la visión se elabora, en último término, en el cerebro, conectado mediante el nervio óptico a la retina del ojo, enfatizando el hecho de que el sistema visual está formado por el ojo y el cerebro.

Por otro lado, hay que advertir que la imagen óptica que dibujamos en la pantalla del sistema óptico para representar lo que el ojo ve en ella no es una especie de objeto tenue pegado en ella, sino que se trata de una distribución de puntos donde se concentra la luz emitida por otros tantos puntos del objeto después de atravesar la lente. Por tanto, esa imagen únicamente tiene sentido por la existencia del ojo del observador. Si éste cerrara los ojos, en la pantalla no podríamos representar la imagen de ningún objeto; allí solo existen, en los diferentes puntos, concentraciones de distintos tipos de luz con diferentes intensidades.

En un nivel elemental, dado que lo realmente importante es el fundamento de la imagen óptica que explica cómo vemos, no es necesario introducir las características de los trazados gráficos para localizar la posición de la imagen ni su tamaño. En todo caso, dado que se conoce la posición de la pantalla donde se ve la imagen, para determinar gráficamente su tamaño se les puede dar la siguiente información adicional: experimentalmente se comprueba que hay una línea recta imaginaria que une cualquier punto del objeto con su punto imagen y que esta pasa justo por el centro de la lente.

Al formalizar la construcción gráfica de la imagen óptica a partir de haces divergentes de luz emitidos por cada punto del objeto, la resolución de la A.24 se hace evidente con tal de trazar haces más estrechos en función del diafragma situado delante de la lente.

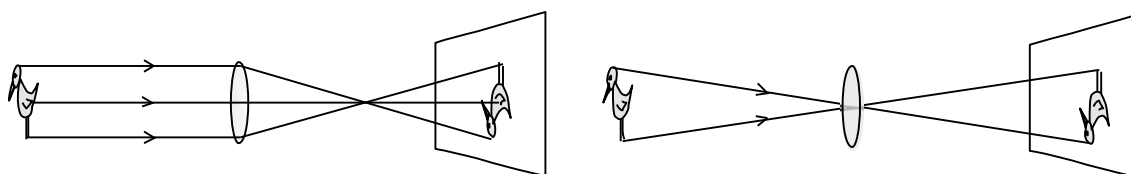
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_



El propio iris del ojo se puede considerar como un simple diafragma que regula la cantidad de luz que entra. Experimentalmente es fácilmente observable que el único cambio en la imagen cuando se tapa, por ejemplo, media lente es una menor luminosidad, sin afectar el tamaño de la imagen ni la posición de la pantalla donde se localiza. Pueden hacerse sencillas experiencias con una lupa y una cartulina en la que se recoja la imagen, para mostrar este hecho tapando una parte de dicha lupa.

Para acabar con este apartado se proponen a continuación un par de actividades (autoevaluación y recapitulación):

**A.26.** Con frecuencia, para explicar la imagen formada por una lente convergente y que se ve en una pantalla, se realizan trazados de rayos incorrectos como los siguientes:



Con el modelo de visión y el concepto de imagen óptica que hemos elaborado, explica por qué no pueden ser considerados correctos. En concreto analiza por qué **no** explican:

- Que la imagen óptica se forme en una única posición
- Que el tamaño de la imagen no dependa de que exista un diafragma que pueda tapar parte de la lente.

**A.27.** Realizad una recapitulación del tema que estamos estudiando en donde se recoja:

- ¿Qué problema hemos planteado?
- ¿Qué estrategia hemos seguido?
- ¿Cómo explicamos la visión directa de los objetos?
- ¿Qué hipótesis hemos realizado respecto a las fuentes luminosas, al comportamiento de la luz y al comportamiento del ojo?
- ¿Qué problemas vamos a abordar como consecuencia del modelo de visión elaborado?

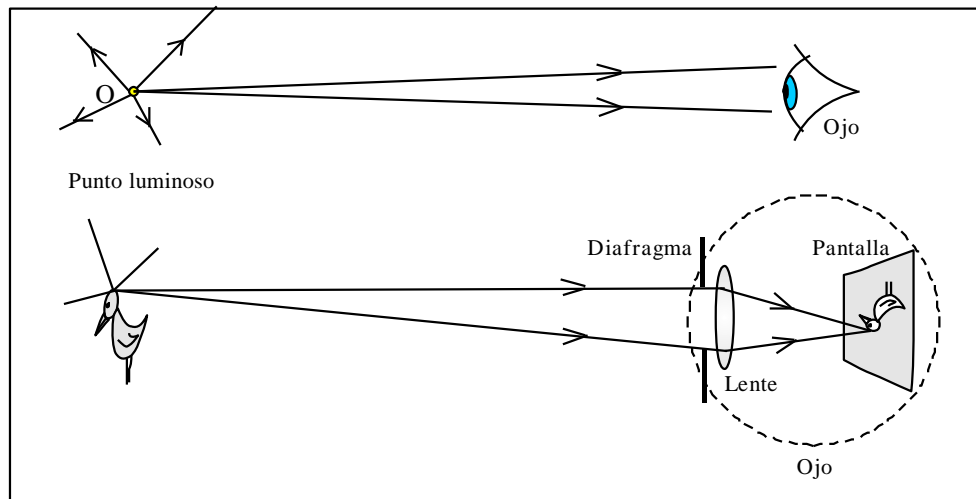
En la actividad de autoevaluación, los estudiantes tienen oportunidad de enfrentarse a los trazados gráficos de la imagen óptica que, posiblemente, harían ellos antes de la enseñanza que aquí venimos desarrollando.

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

Con el trabajo realizado hasta aquí hemos intentado elaborar un modelo de visión que explique **cómo vemos** los objetos al mirarlos directamente. Para abordar este problema la estrategia seguida ha consistido en:

- 1º Analizar las relaciones entre el objeto que vemos, la luz y el ojo del observador.
- 2º Una vez que hemos clarificado estas relaciones, hemos abordado qué hace el ojo con la luz que le llega para explicar cómo vemos.

El modelo de visión que hemos construido es coherente con el elaborado por el científico y astrónomo Johannes Kepler a comienzos del siglo XVII. En su trabajo se encargó de argumentar en contra de ideas antiguas, existentes desde 2000 años antes, y que hasta entonces no habían sido cuestionadas. Esencialmente, las características del modelo de Kepler (actualizado) son las siguientes:



- ✓ Los objetos que vemos son fuentes secundarias de luz.
- ✓ Las fuentes luminosas extensas se pueden considerar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales.
- ✓ Desde cada fuente puntual se emite un haz esférico de luz. Los rayos (líneas rectas para representar la luz) no son nada de la propia luz, solo indican los límites del haz de luz que se considere.
- ✓ La luz es una entidad física real que se propaga en el espacio a 300 000 km/s, independiente de las fuentes y del observador y, por tanto, puede ser objeto de estudio por parte de la Física.
- ✓ El ojo humano funciona como un sistema óptico formado por una lente convergente y una pantalla.
- ✓ Para ver bien, es necesario formar una imagen en la retina. La imagen se forma de la siguiente manera: cada haz divergente de luz emitido por cada punto del objeto, después de entrar en el ojo, converge hasta un punto de la retina. Como en cada punto de la imagen se concentra parte de la luz emitida por cada punto del objeto, la forma y tamaño de la imagen que percibimos es una réplica a escala del tamaño y forma del objeto que vemos.
- ✓ Para ver bien los objetos cercanos, la lente del cristalino aumenta su curvatura (acomodación) con lo que los haces de luz acaban convergiendo y formando la imagen en esa misma pantalla (la retina).

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

El modelo de visión de Kepler que hemos reelaborado explica la visión directa de los objetos, aunque no profundiza en cómo se elabora la sensación en el cerebro ya que, por ejemplo, no sabemos exactamente por qué se perciben los objetos derechos y no invertidos como la imagen formada en la pantalla de la retina. Además, para completar el modelo de visión y aumentar su validez, deberemos comprobar si con él podemos explicar también la visión indirecta (cuando miramos a un espejo, a un objeto sumergido, cuando miramos a través de las lentes,...) e incluso si podemos comprender por qué se producen y cómo se corrigen las anomalías visuales.

### 2. PUESTA A PRUEBA DEL MODELO EN SITUACIONES DE VISIÓN INDIRECTA

El modelo de visión de Kepler, en el que el ojo es modelizado como un sistema óptico formado por una lente y una pantalla, ha permitido explicar cómo vemos los objetos directamente. Este modelo supone que la retina es una pantalla donde se forma una representación del objeto, llamada imagen óptica, con la que se percibe la forma y el tamaño de los objetos que vemos. Para que se forme esta imagen, un haz divergente de luz emitido desde cada punto del objeto debe entrar en el ojo y, después, converger en cada punto de la imagen óptica formada en la retina. La coherencia y validez de este modelo se verá aumentada si con él somos capaces de explicar la visión indirecta de los objetos, es decir, al ponerlo a prueba para explicar cómo vemos al mirar a un espejo, al mirar a los objetos sumergidos en agua, al mirarlos a través de lentes, etc.

#### 2.1 ¿Cómo vemos al mirar a un espejo plano?

Desde antiguo los filósofos emitieron hipótesis sobre cómo podemos ver indirectamente los objetos al mirar a un espejo plano. Con el modelo de visión que hemos elaborado deberemos poder enfrentarnos a estas situaciones, pero antes hemos de conocer con detalle las características de dicha visión indirecta.

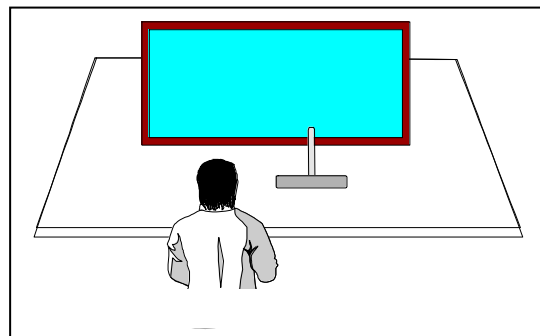
**A.28.** *Explorad la visión de los objetos al mirar a un espejo plano. Utilizad, para ello, un espejo plano que dejaremos fijo en la mesa y un pequeño objeto que podremos situar en distintas posiciones. Anotad los resultados de las observaciones siguientes:*

a) *¿Dónde parece estar el objeto cuando lo miramos a través del espejo?*

b) *Situando el objeto enfrente del espejo, ¿desde qué posiciones es visible? Haced un esquema donde se representen estas posiciones.*

c) *¿Varía el tamaño al mirar al objeto a través del espejo?*

d) *¿Varía la posición de lo que vemos al variar nuestra posición?*



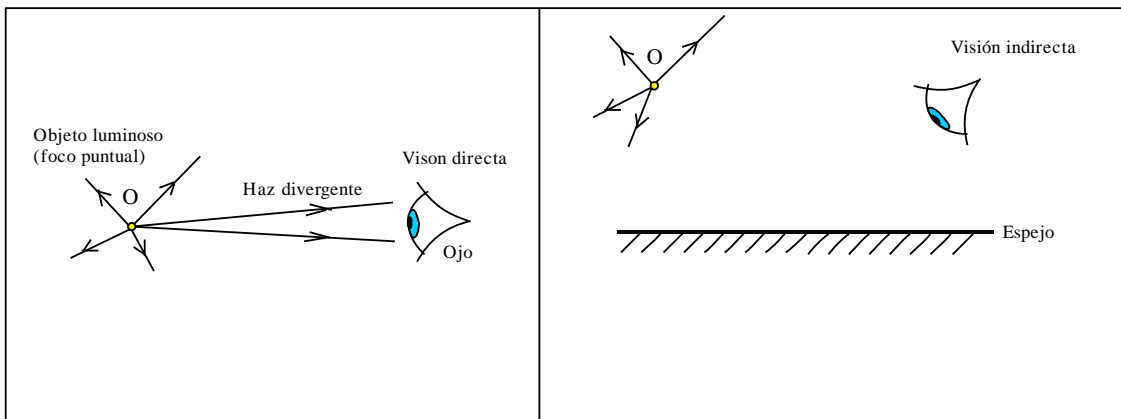
Mediante esta actividad se trata, simplemente, de familiarizar a los estudiantes con algunas observaciones de interés al mirar a un espejo plano. Su realización es sencilla y permite constatar algunos hechos que más tarde serán interpretados, tales como que la imagen parece estar situada al otro lado del espejo, simétricamente respecto del objeto y



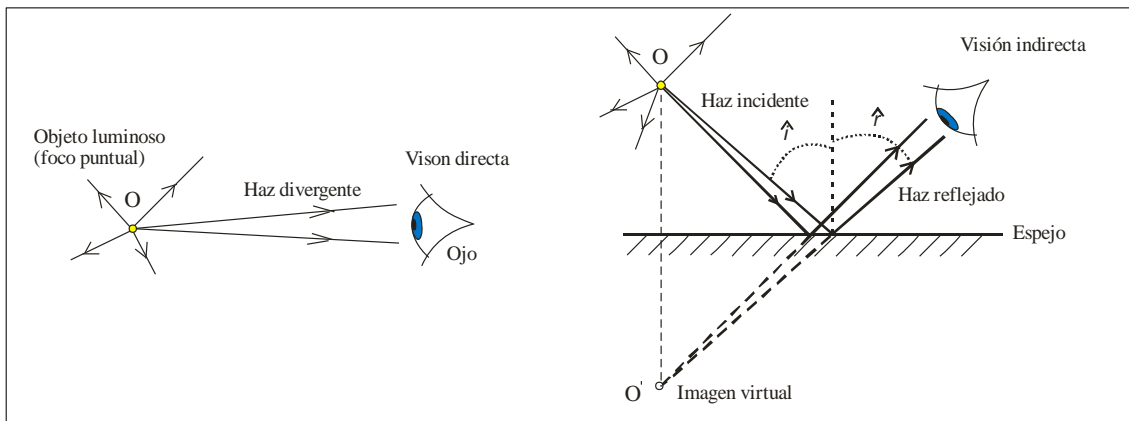
del mismo tamaño que éste, sin que la posición del observador altere ninguna de estas características.

**A.29.** De acuerdo con el modelo de visión que hemos elaborado, vemos un objeto cuando un haz divergente de luz procedente de cada punto del mismo entra en el ojo y éste forma una imagen en la retina. Coherentemente con esto, formulad una hipótesis que explique cómo vemos un objeto puntual,  $O$ , al mirar a un espejo plano. Concretamente:

- ¿Cómo llega la luz procedente del objeto hasta el ojo si éste solo mira al espejo?
- ¿Por qué parece que veamos el objeto como si estuviera situado detrás del espejo?
- Completad el diagrama de visión al mirar al espejo a partir de la hipótesis.



Esta actividad sugiere la formulación de una hipótesis acerca del comportamiento de la luz que haga explicable la visión al mirar al espejo y que sea coherente con el modelo de visión elaborado. Esencialmente consistiría en pensar que del punto objeto  $O$ , salen haces de luz en todas direcciones y que muchos de ellos rebotan (se reflejan) en el espejo de tal modo que cambian su dirección y llegan al ojo, pareciendo provenir de un punto imagen  $O'$ , situado en el interior del espejo, simétrico a  $O$  respecto del plano del espejo, lo que exige que los ángulos de incidencia ( $\hat{i}$ ) y de reflexión ( $\hat{r}$ ) de cada uno de los rayos del haz deban ser iguales (de otra forma la imagen no sería simétrica respecto del objeto).



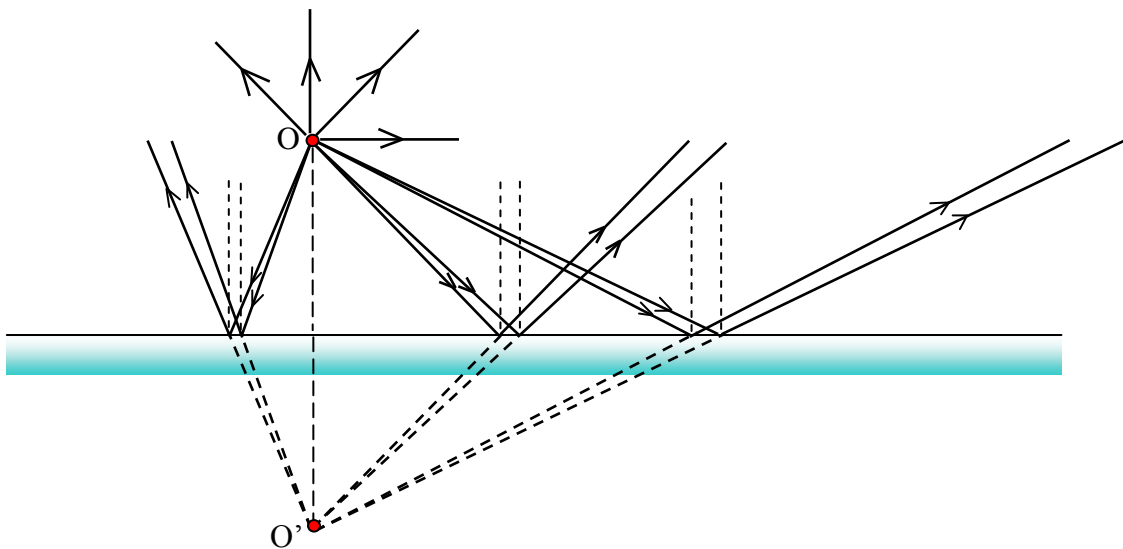
El punto  $O'$ , donde se localiza lo que se ve al mirar al espejo, se suele denominar *imagen virtual* del objeto puntual  $O$ , ya que de él parece proceder la luz que llega al ojo, pero  $O'$  no es una fuente luminosa. Las líneas punteadas indican que el haz de luz en esa zona no existe, aunque el observador interprete que el haz que le llega proceda del punto  $O'$ . No

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

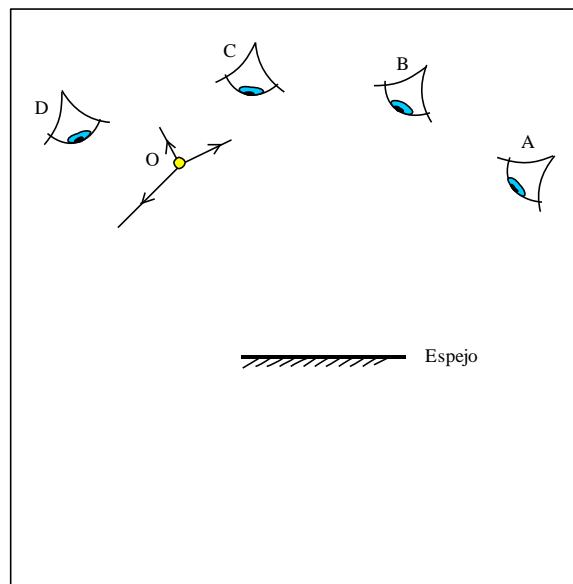
obstante, sabemos que cuando vemos un objeto, sea directamente o bien al mirar a un espejo, la verdadera imagen es la representación del objeto que se forma en la retina del ojo.

**A.30.** *Construid los trazados gráficos que se precisen para mostrar que la posición de la imagen es independiente de dónde esté situado el observador.*

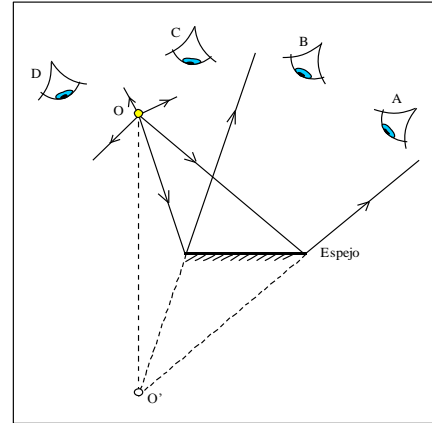
En la figura siguiente se puede apreciar cómo el foco puntual emite haces de luz en todas direcciones pero que al construir los haces reflejados correspondientes, todos ellos parecen provenir de un mismo punto. Se dice entonces que el espejo plano es “estigmático” (formador de imágenes).



**A.31.** *En el esquema siguiente se representa un espejo plano, un objeto puntual O y un observador en varias posiciones. Dado que la posición de la imagen que se ve, no depende de la posición del observador, completad un diagrama de rayos para interpretar desde qué posiciones del observador se podrá ver la imagen al mirar al espejo.*



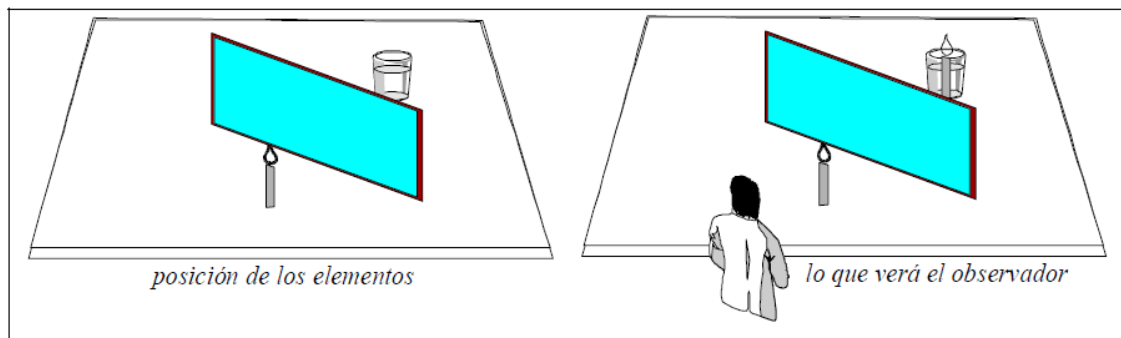
En esta actividad la respuesta se puede obtener de un trazado gráfico sencillo, sin necesidad de utilizar semicírculos graduados para la medida de ángulos, considerando que la posición de la imagen es simétrica respecto a la del objeto. Por ello, podemos, situar el punto imagen,  $O'$ , y de él trazar el haz reflejado en el espejo. Del esquema siguiente se deduce que solo a los ojos de los observadores A y B les llega parte del haz de luz divergente reflejado en el espejo y son los únicos que verán la imagen.



Es de destacar que la respuesta se ha obtenido de la aplicación estricta de la hipótesis de la reflexión de la luz, pero será necesario llamar la atención de los alumnos en cuanto que la imagen solo es vista por unos observadores mientras que si se localizara en la misma superficie del espejo (como algunos creen antes de la enseñanza), debería ser vista desde cualquier posición delante del espejo.

**A.32.** *Diseñad una experiencia sencilla y realizable en el aula para confirmar que la imagen que se ve al mirar a un espejo plano está situada a la misma distancia de él que el objeto. Proceded a su realización describiendo el dispositivo utilizado y el procedimiento seguido*

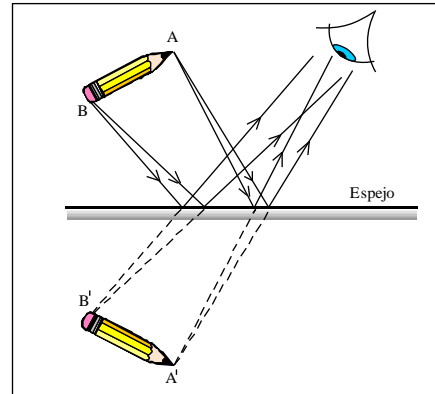
Un diseño bastante simple consiste en colocar un rotulador con la punta hacia abajo delante de un espejo casi en uno de los bordes laterales de este. A continuación se coloca otro rotulador igual por detrás del espejo tratando de que coincida con la imagen que vemos del primero. Midiendo las huellas dejadas sobre la mesa, se puede comprobar que son sensiblemente equidistantes del espejo. Se pueden sugerir otras experiencias sencillas, pero de gran impacto. Una de ellas consiste en colocar una vela encendida delante de un trozo de vidrio transparente y detrás de él, y a la misma distancia, un vaso con agua; el observador verá la imagen de la vela dentro del vaso de agua si esas distancias son iguales, ya que el trozo de vidrio, aunque sea transparente y deje ver el vaso de agua, también refleja en parte la luz de la vela.



**A.33.** *Realizad un diagrama de rayos para explicar cómo vemos un objeto extenso al mirar a un espejo plano.*

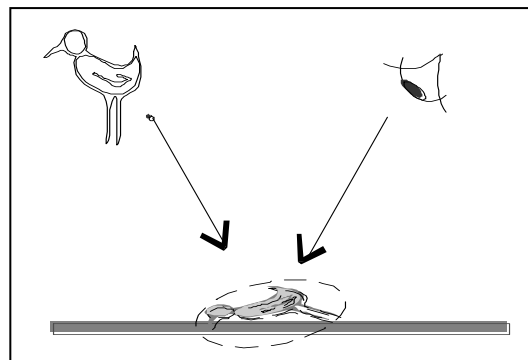
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Esta actividad consiste en repetir el trazado de la reflexión de la luz pero esta vez para un par de puntos extremos del objeto, insistiendo en la hipótesis que repetidamente estamos aplicando en estos casos: considerar los objetos extensos que vemos como conjuntos de fuentes puntuales. Esto es lo que se ha hecho en la figura adjunta.



Conviene insistir en que la imagen que dibujamos solo tiene sentido por referencia al ojo del observador, no se trata, en ningún caso, de un objeto situado detrás del espejo, ni siquiera la luz procede de allí, por eso se le denomina imagen virtual. Para reflexionar sobre este aspecto, una vez construida gráficamente la posición de la imagen, podría preguntarse a los estudiantes: *¿seguirá existiendo esa imagen si cerramos los ojos?*

**A.34.** Para explicar cómo vemos los objetos al mirar a un espejo, muchas personas que no han estudiado óptica, opinan que una imagen del objeto llega hasta el espejo y se queda allí, pegada, y por eso la vemos. Con lo que habéis estudiado en clase dad argumentos en contra de esta idea y corregid los errores de su trazado.

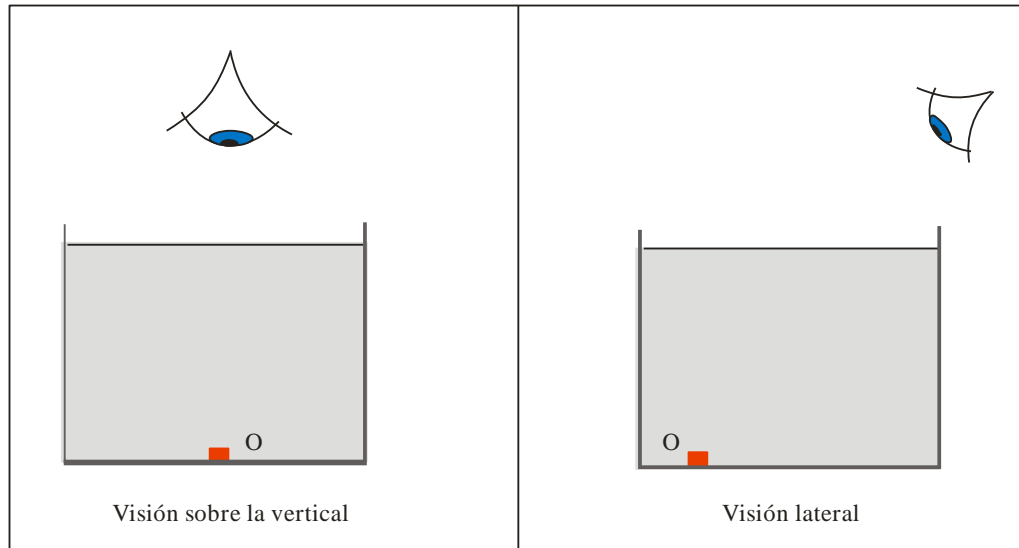


Se trata de una actividad planteada a partir de una de las ideas alternativas que hemos detectado que tienen los estudiantes antes de la enseñanza. En ese esquema la imagen parece emanar del objeto, entera, y trasladarse hasta la superficie del espejo donde se posa y el observador no es considerado un receptor de luz sino que está trazada su línea de mirada. Planteada de esta forma, los estudiantes tendrán ocasión de reflexionar y autocorregir, si fuera el caso, estas ideas, aplicando la hipótesis de la reflexión de la luz y probando la potencia explicativa del modelo de visión de Kepler.

## 2.2 ¿Cómo vemos los objetos sumergidos en líquidos transparentes?

Haciendo uso del modelo de visión de Kepler y de la hipótesis de la reflexión de la luz hemos explicado cómo vemos los objetos, indirectamente, al mirar a un espejo plano. Podemos, también, poner a prueba el modelo de visión al enfrentarnos con otro fenómeno de visión indirecta como el que se da al mirar a objetos sumergidos en líquidos o en otro material transparente.

**A.35.** Al mirar a un pequeño objeto sumergido en un recipiente con agua nos parece verlo en otra posición. Realizad las observaciones que se representan en los esquemas y señalad las características de la imagen que vemos.



Cuando observamos un pequeño objeto sumergido como, por ejemplo, una moneda, nos parece que se encuentra a menor profundidad de la que realmente está. La experiencia es sencilla de realizar y basta con echar una pequeña moneda dentro de un vaso transparente con agua y colocarlo sobre una hoja escrita. Se puede comprobar fácilmente que la moneda y las letras que aparecen en el fondo del vaso parecen encontrarse sobre las letras que se ven fuera de él.

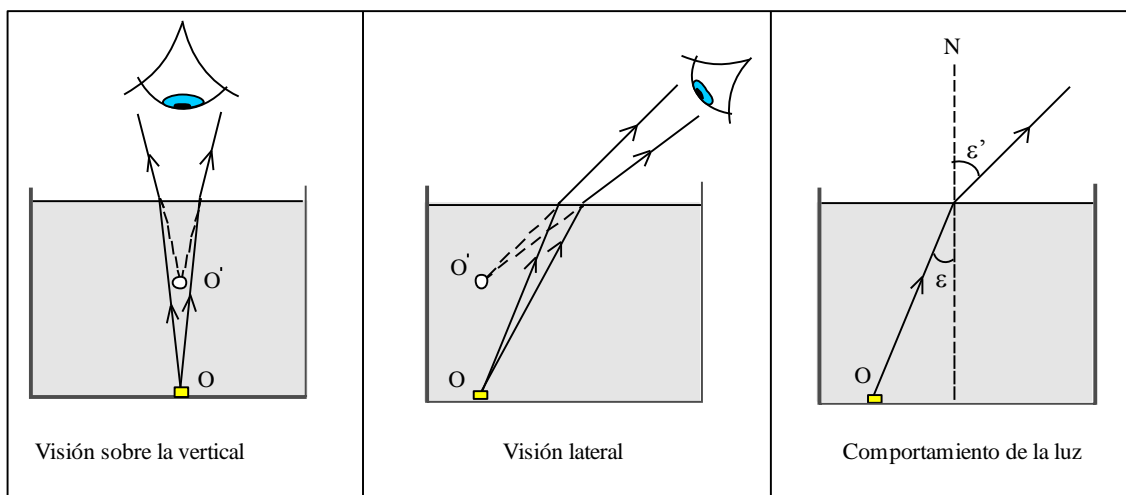
Otra experiencia también clásica y muy sencilla de realizar es colocar una moneda pegada en el centro del fondo de un recipiente que no sea transparente (por ejemplo una taza de cerámica). A continuación el observador se coloca de forma que vea la moneda dentro del recipiente y va moviendo su cabeza alejándose de la vertical poco a poco hasta que deje de verla. En ese momento basta con añadir agua al recipiente (sin mover la moneda) para que ésta vuelva a verse.

La refracción de la luz, o cambio de dirección que se produce al pasar la luz del líquido al aire, en general de un medio transparente a otro, depende del tipo de líquido y, como consecuencia, la profundidad con que se verá la imagen del objeto sumergido cuando se observa desde la vertical, también dependerá del medio donde se encuentre. La relación (o cociente) entre la profundidad real y la profundidad a la que se ve la imagen, al mirarla perpendicularmente, es una característica óptica de la sustancia transparente denominada índice de refracción ( $n$ ). En el caso del agua, dicho índice vale aproximadamente 1,3.

**A.36.** De acuerdo con el modelo de visión de Kepler, para ver un objeto debe entrar en el ojo un haz de luz divergente procedente de cada uno de sus puntos. Formulad una hipótesis sobre el comportamiento de la luz que explique que cuando miramos hacia un objeto sumergido en agua nos parezca que se encuentra a menor profundidad.

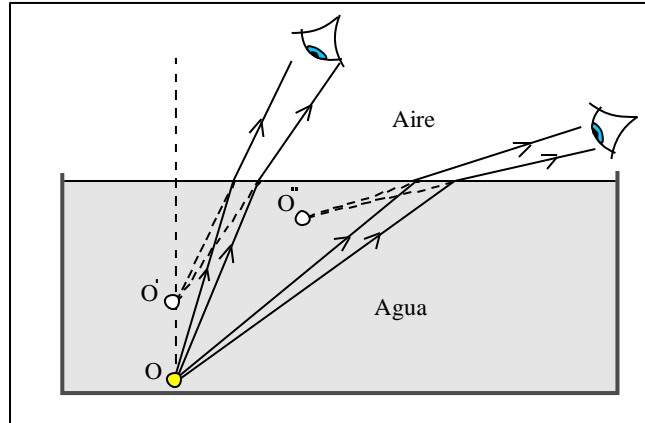
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Las observaciones de objetos sumergidos en líquidos transparentes revelan que estos parecen encontrarse a menor profundidad de lo que están, por lo que pueden ser vistos desde posiciones laterales en las que es imposible que llegue la luz directa del objeto. Para explicar estos fenómenos de forma coherente con el modelo de visión de Kepler los estudiantes han de suponer que la luz cambia de dirección al pasar del agua al aire. Al cambio de dirección de cada rayo de luz al pasar de un medio transparente a otro se le denomina refracción de la luz. En el caso de que la luz pase del agua al aire, el ángulo,  $\epsilon$ , que forma un rayo de luz con la normal (N), es menor que el ángulo de refracción,  $\epsilon'$ , por lo que la luz se desvía alejándose de la normal. De esta forma, el haz de luz que entra en el ojo del observador parece proceder de  $O'$ , por eso se suele denominar a este punto *imagen virtual* del punto O. En ese punto parece estar situada la imagen que vemos, pero ese punto no es, en realidad, una fuente luminosa.



El fenómeno de la refracción es responsable por tanto, de que la profundidad de una charca o de una piscina nos parezca menor de lo que realmente es y debe tenerse en cuenta por quienes no saben nadar bien. Así mismo, permite comprender por qué un palo recto parece doblado al meterlo parcialmente en el agua.

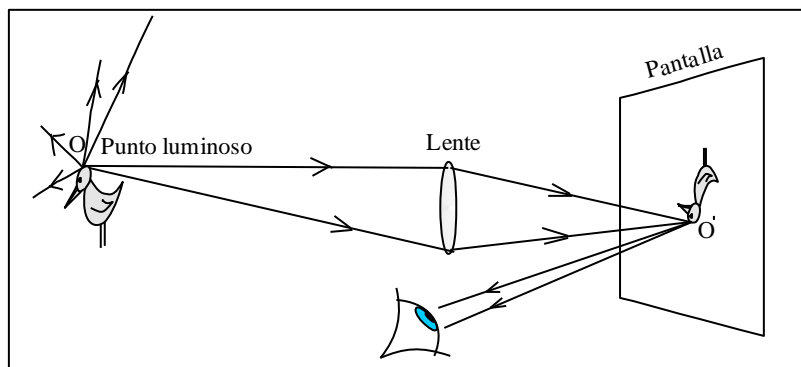
A pesar de que este fenómeno se presenta en prácticamente todos los libros de texto, no se suele avisar de que la posición de la imagen depende de la posición del observador, por lo que el dioptrio plano no es un sistema óptico estigmático. Sin embargo, cuando el observador se sitúa sobre la vertical al objeto sumergido o próximo a ella, este sistema se puede aproximar a un sistema estigmático y la relación entre la profundidad real y aparente equivale al índice de refracción del líquido. La figura siguiente pone de manifiesto este fenómeno:



### 2.3. ¿Cómo vemos al mirar a través de las lentes?

Al elaborar el modelo de visión modelizamos el ojo como un sistema formado por una lente convergente y una pantalla. Al estudiar este sistema óptico comprendimos cómo vemos la imagen que se forma en una pantalla, pero sabemos que las lentes se pueden usar también eliminando la pantalla y mirando a través de ellas. Los fenómenos de visión cuando miramos a través de las lentes son otra ocasión para poner a prueba el modelo de visión que hemos elaborado.

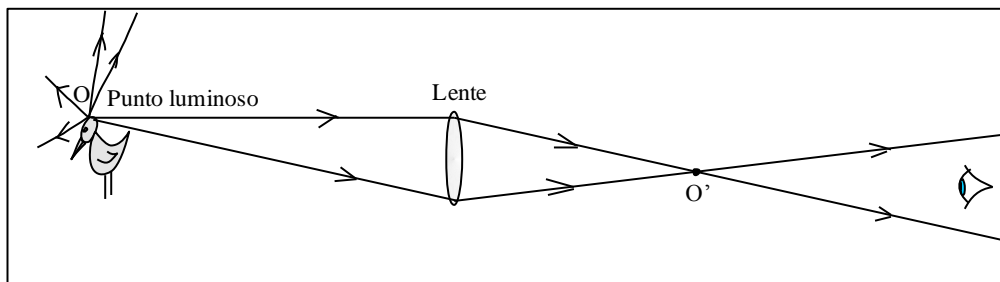
**A.37.** *En el esquema siguiente se representa cómo se ve en una pantalla la imagen formada con una lente convergente. Si se elimina la pantalla, ¿es posible ver esa imagen?, ¿desde dónde se podrá ver? Realizad un diagrama que lo explique y confirmad experimentalmente vuestra predicción.*



A lo largo de este tema hemos estudiado como modelo de ojo humano el sistema óptico formado por una lente convergente y una pantalla cuando el objeto se encuentra alejado del mismo; la imagen real formada con este sistema óptico se localiza en la pantalla de ese sistema (en la retina en el caso del ojo). En los apartados anteriores, al estudiar la visión indirecta, para explicar la visión de los objetos en los espejos planos o cuando se encuentran en el interior de una cubeta con agua, la imagen que se veía la denominamos

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

virtual y no existe posibilidad de recogerla en una pantalla. Esa característica de la imagen de esos sistemas ópticos es la que se ha tendido a generalizar para distinguir la imagen real de la imagen virtual y, con frecuencia, se suele definir imagen real como la que se recoge en pantallas y virtual la que no lo hace. Sin embargo, la imagen real no puede reducirse conceptualmente a esa característica. En la actividad se plantea una situación para clarificar este punto que, por otra parte, no puede pensarse que se trata de una situación insólita o anecdótica ya que el funcionamiento de telescopios y otros muchos instrumentos ópticos se basa en la posibilidad de ver la imagen real dada por una lente convergente en ausencia de pantalla. El papel de la pantalla en un sistema lente convergente-pantalla es la de ser difusora de haces de luz, de forma que para muchas posiciones del observador cada punto de la imagen difunde luz hasta su ojo; si se elimina la pantalla, la luz continúa propagándose desde el punto imagen de forma que cualquier observador que sitúe su ojo en el espacio que ocupa el haz divergente cónico que, ahora, procede de  $O'$  verá esa imagen sin necesidad de pantalla.

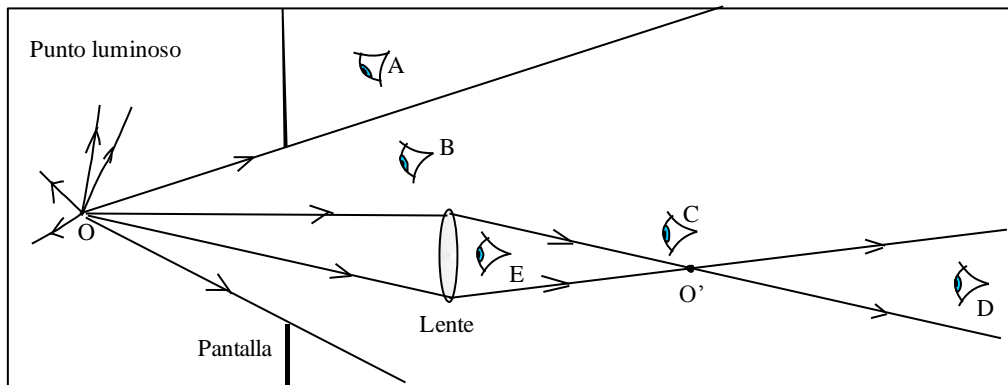


Así pues  $O'$  es una imagen real de  $O$ , se vea con pantalla o sin ella ya que la luz que recibe el ojo procede de  $O'$ . Experimentalmente es difícil apreciar que la imagen que se ve en esta situación se localiza a cierta distancia de la lente, una primera observación más bien da la sensación de que la imagen está en la propia lente o incluso detrás de ella. Sin embargo, se pueden realizar observaciones más cuidadosas para apreciar la verdadera localización de la imagen cuando se mira a través de una lente sin pantalla. Una de ellas consiste coger con una mano una lente convergente (por ejemplo de 10 cm de focal), situar el ojo en la posición que indica el esquema gráfico anterior y, con la otra mano, poner y quitar, alternativamente, un trozo de papel traslúcido en la posición donde se forma la imagen (donde antes estaba situada la pantalla). Al poner el papel traslúcido y localizarse en él la imagen, el ojo acomoda para ver nítido a esa distancia y, al quitarlo, permanece la sensación de que la imagen vista se encuentra en esa posición.

Es posible que una primera respuesta de los alumnos sea que la imagen  $O'$  se ve situando el ojo en la posición donde se forma, donde se encontraba la pantalla, sin embargo, de acuerdo con el modelo de visión de Kepler que venimos poniendo a prueba, la visión es posible cuando desde cada punto del objeto llega al ojo un haz divergente de luz. Según esto, el punto imagen  $O'$  se comporta como un objeto, con la diferencia de que la luz emitida por él está limitada a un único haz divergente. La distancia a la que hay que colocarse del punto  $O'$  está relacionada con la capacidad de acomodación del ojo; la variabilidad de convergencia de la lente del cristalino permite formar una imagen en la retina cuando el haz divergente tiene su origen, como mínimo, a unos 25 cm del ojo (aunque esta distancia sufre variaciones con la edad).



**A.38.** En una habitación de paredes negras, ¿qué verán cada uno de los observadores representados en el diagrama?

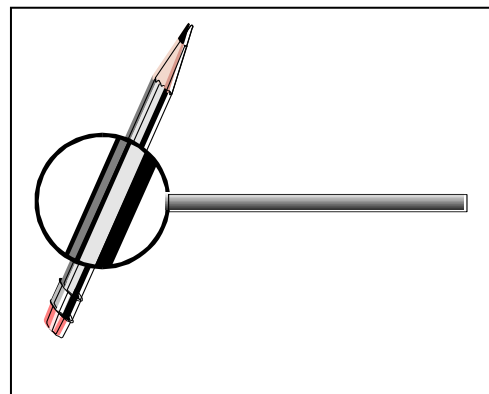


La realización de esta actividad permite a los estudiantes reflexionar sobre el modelo de visión de Kepler y las características de la imagen real. El análisis de esa situación deberá llevar a concluir que: en la posición A, el observador no verá nada al no recibir luz de ningún punto; en la posición B, el observador verá el punto O ya que desde él se puede trazar un haz divergente que entre en el ojo; en la posición C, el observador, tal y como está representada gráficamente la luz, no verá nada, aunque es posible que los alumnos piensen que puede llegar luz difundida desde los bordes de la lente pero, en el caso de que los bordes de la lente estén exquisitamente pulidos de forma que toda su superficie haga converger la luz que recibe, ese observador no vería nada; el observador D verá la imagen O' como hemos explicado anteriormente y el observador E no verá con nitidez el objeto O ya que, en un ojo emétrope, para formar una imagen óptica en la retina debe llegar un haz divergente de luz. En este caso, sin embargo, le llega luz pero el ojo no puede distinguir ninguna forma ni detalle del objeto (mucho más cuanto más poder de convergencia tenga la lente) y únicamente obtendrá sensación de luminosidad.

Una lente convergente puede formar una imagen real cuando el objeto (la fuente luminosa) se encuentra a cierta distancia de ella, pero la lente tiene un poder limitado de convergencia y para objetos muy cercanos no es posible su formación. Sin embargo, en estas condiciones, podemos ver aumentados los objetos mirando a través de la lente. Cuando la lente convergente se usa de esta forma se le llama *lupa*.

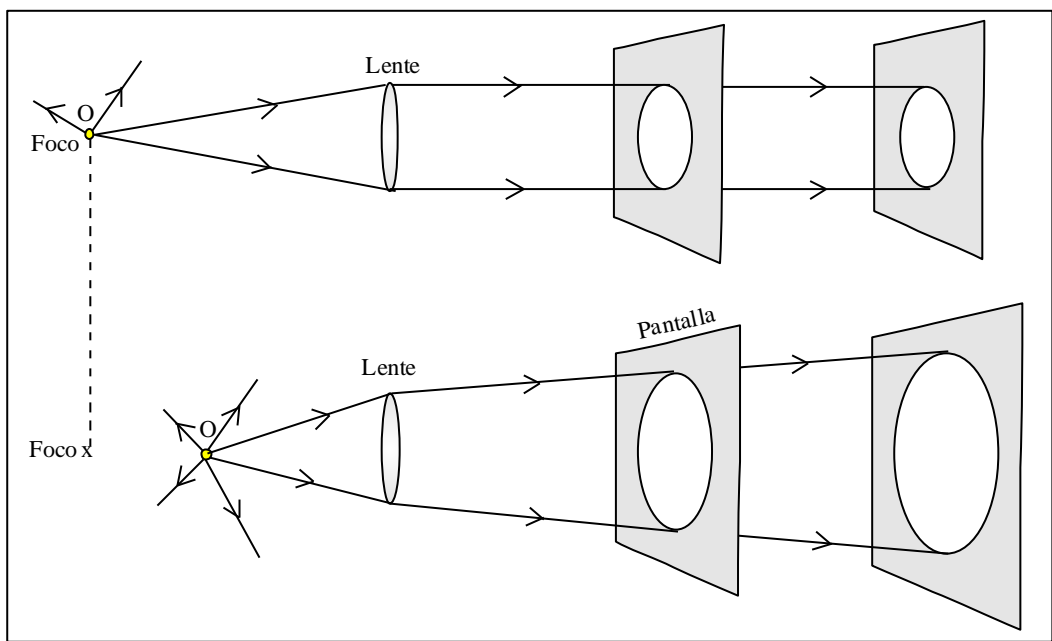
**A.39.** Explorad el comportamiento de la lente convergente suministrada por el profesor cuando actúa como lupa anotando los resultados de las observaciones siguientes:

- ¿En qué margen de distancias a la lente puede estar situado el objeto para que actúe como lupa?
- ¿Qué características tiene la imagen cuando la lente actúa como lupa: real o virtual, derecha o invertida, de mayor o menor tamaño?



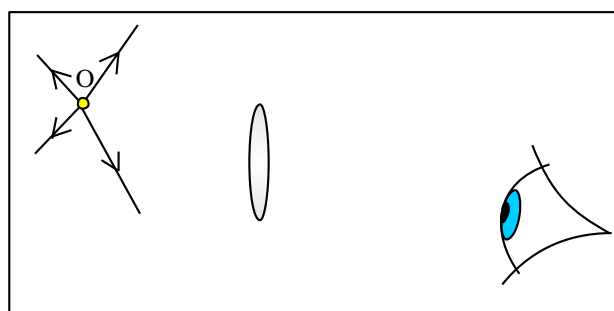
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Aunque los alumnos hayan usado la lupa en alguna ocasión no podemos suponer que conocen las características de la visión a través de ella por lo que se recomienda hacer la exploración de su comportamiento con una lente convergente de 10 cm focal que, además, es el tipo de lente que suele suministrarse en los equipos de óptica de los centros educativos. Al ser éste el tipo de lente que se usó en A.19, donde se buscaba la posición de la pantalla en la que se podía ver la imagen real de una fuente puntual situada a distintas distancias, los alumnos pueden recordar que únicamente se puede ver la imagen en la pantalla cuando la fuente puntual se sitúa a distancias mayores de 10 cm (distancia focal) pero que, a esa distancia, el haz de luz emergente formaba sobre la pantalla, cualquiera que fuera su posición, círculos iluminados del mismo diámetro que la lente. Para distancias menores (es decir, cuando el objeto o fuente luminosa, se sitúa entre el foco y la lente), esos círculos iluminados se hacen mayores conforme se aleja la pantalla. En esta última situación, aunque la lente converja el haz de luz incidente, el haz que emerge de ella aún es divergente y no es posible obtener una imagen en una pantalla. Podemos recordar estos trazados:



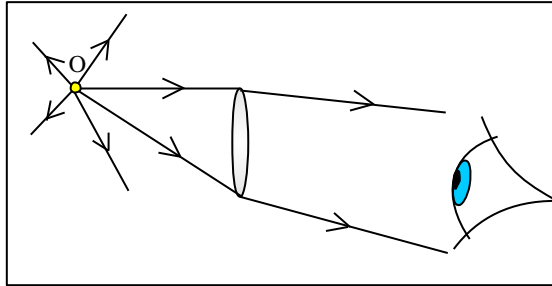
A partir de estos trazados, se puede afrontar el trazado gráfico cualitativo que se propone en la siguiente actividad, para el caso de un objeto situado entre el foco y la lente:

**A.40.** Una persona mira a través de una lente convergente a un objeto puntual situado entre el foco y la lente tal. Completad el esquema con un trazado de rayos que explique cómo es visto ese objeto cuando la lente actúa como lupa.

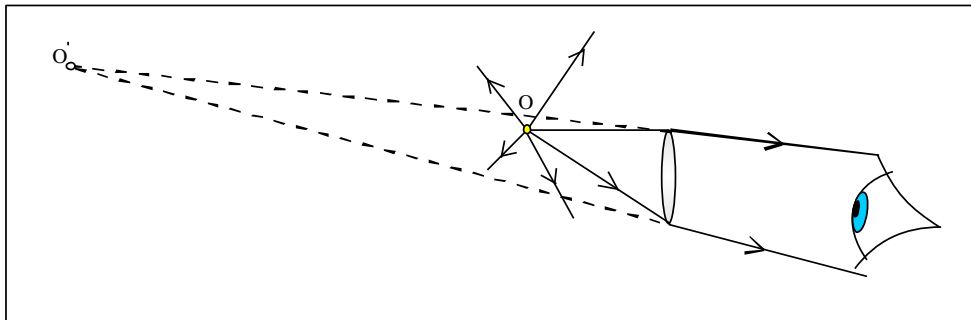


10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

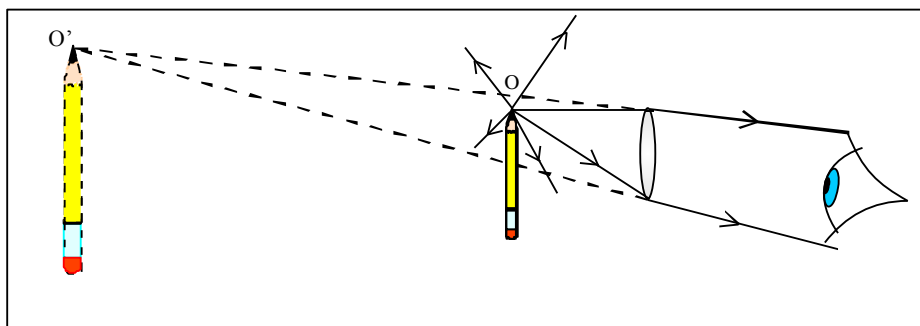
Cuando el objeto está situado entre el foco y la lente, aunque el haz emergente ha convergido respecto al incidente, la convergencia no es suficiente para concentrar la luz en un punto. Así pues el trazado de la luz será:



Como el haz que llega al ojo es divergente, el observador verá una imagen (virtual) en el origen directo de ese haz de luz, lo que se asemeja a la visión en un espejo y a de los objetos sumergidos en agua. El trazado de localización de esa imagen virtual será, pues:



En caso de tratarse de un objeto extenso, podemos imaginar que el punto O es uno de sus extremos y, para el otro, el trazado gráfico no es necesario realizarlo por ser simétrico al primero. A partir del esquema siguiente se puede entender el aumento con que se ven los objetos cuando la lente convergente se usa como lupa.



Con frecuencia se suele dibujar la imagen virtual, en este caso un lápiz, para representar que el ojo reconoce en la imagen al objeto emisor de luz, conviene volver a avisar aquí que esta imagen solo tiene sentido por referencia al ojo del observador, que en ningún caso se trata de un objeto situado detrás de la lente y que ni siquiera es el origen de la luz que llega al ojo.

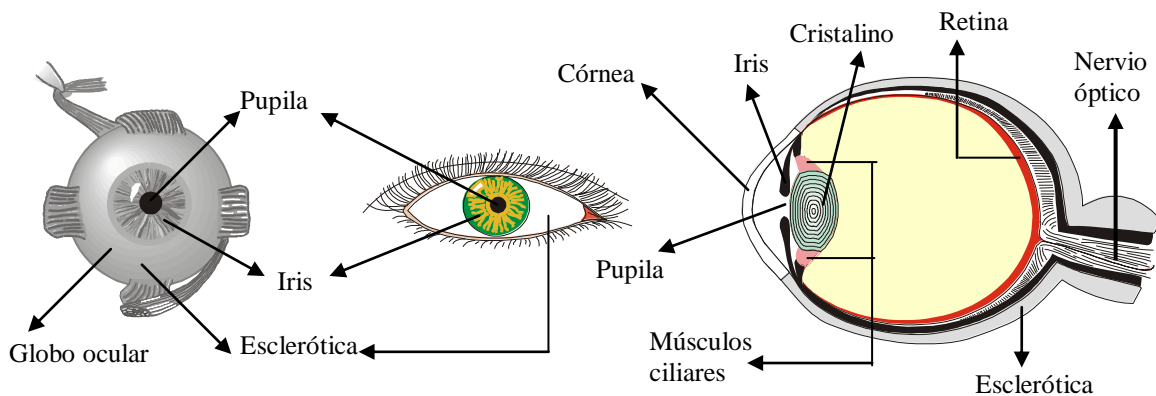
### 3. APLICACIONES TECNOLÓGICAS DEL MODELO DE VISIÓN

El modelo de visión de Kepler ha permitido explicar la visión directa de los objetos y cuando los vemos de forma indirecta, al mirar a espejos planos, a los objetos sumergidos en medios transparentes y al mirarlos a través de lentes. Una de las aplicaciones de este modelo de visión que más ha influido en mejorar la calidad de vida de las personas ha sido la comprensión y, por tanto, la corrección de las anomalías visuales.

#### 3.1 ¿Cómo se corrigen las anomalías visuales?

En el ojo, el orificio por donde entra la luz es la pupila (se ve siempre negra porque es un agujero) y la parte coloreada que hay a su alrededor se llama iris y actúa como un verdadero diafragma ya que varía automáticamente de tamaño para regular la entrada de luz. Cuando hay demasiada luz el iris se ajusta haciendo que la pupila se contraiga y viceversa. La retina es la capa más interna del ojo y actúa como una pantalla a la que llega la luz emitida por cada punto del objeto al que se mira. En la retina hay unas células receptoras de luz (llamadas conos y bastones) que transforman la energía luminosa que les llega en impulsos eléctricos que a través del nervio óptico se propagan al cerebro, en donde principalmente se realiza la construcción de la imagen y se interpreta lo que vemos.

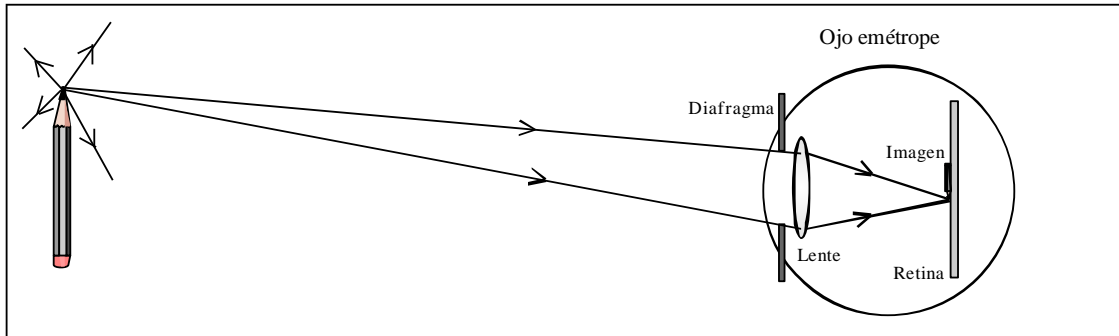
El ojo humano es un cuerpo esférico de unos 2'5 cm de diámetro y la pupila un orificio cuyo diámetro varía según la intensidad luminosa que llega al ojo, pudiendo hacerlo entre unos 2 mm y unos 8 mm. La capa más externa del ojo se llama esclerótica y se trata de una membrana blanca que en su zona anterior se abomba y se hace transparente (córnea). En realidad es la córnea quien proporciona prácticamente toda la convergencia necesaria para que la imagen se forme en la retina. La luz penetra en el ojo a través de la córnea por la pupila y el cristalino (lente convergente) se encarga de realizar una especie de “ajuste fino” para complementar, en la medida necesaria, la acción de la córnea y conseguir que la imagen se forme justamente en la retina. En lo que sigue simplificaremos el modelo de ojo ignorando la acción de la córnea al dibujar los trazados geométricos.



Las anomalías visuales más frecuentes, por las cuales las personas no ven bien son la miopía y la hipermetropía. La presbicia o “vista cansada”, aparece en las personas mayores de 45 años independientemente de que puedan tener otra anomalía, es la imposibilidad de ver bien objetos cercanos.

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?

Para ver bien un objeto lejano, es necesario que se forme una imagen del mismo en la retina que, como hemos estudiado, es una pantalla conectada con el cerebro a través del nervio óptico. Para un ojo normal (o emétrope) el esquema de rayos para explicar la visión de un objeto lejano será:



Si el ojo no cambiase en nada, al ir acercando el objeto, la imagen (como ya vimos en A.19) se irá alejando y formándose detrás de la retina con lo que la visión sería borrosa. Afortunadamente eso no ocurre ya que cuando el objeto se acerca, de inmediato actúan los músculos ciliares sobre el cristalino produciéndole el abombamiento necesario para que al aumentar su convergencia la imagen se sitúe de nuevo en la retina siendo la visión nítida. Este es el procedimiento que tiene el ojo de enfocar los objetos y se denomina acomodación.

La acomodación del ojo se halla limitada por las características físicas del cristalino (lente convergente). Un ojo normal puede acomodar objetos situados entre el infinito (los músculos ciliares están relajados y el ojo presenta la mínima convergencia) y a 25 cm del ojo (los músculos ciliares producen la máxima convergencia). Dichos puntos reciben el nombre de **punto remoto** y **punto próximo** respectivamente. Así pues:

El punto remoto es la distancia máxima a la cual podemos ver nítidamente un objeto (en un ojo normal está en el infinito) y el punto próximo es la distancia mínima a la cual podemos ver nítidamente un objeto (en un ojo normal de una persona joven está situado a 25 cm del ojo).

**A.41.** *La miopía es la anomalía visual de los ojos cuya retina está a mayor distancia del cristalino que en el ojo emétrope. Dibujad en el esquema un diagrama de rayos que explique la visión de un ojo miope de un objeto alejado (en el esquema está señalada con línea discontinua la retina del ojo emétrope). ¿Por qué los miopes ven borrosos los objetos alejados?*

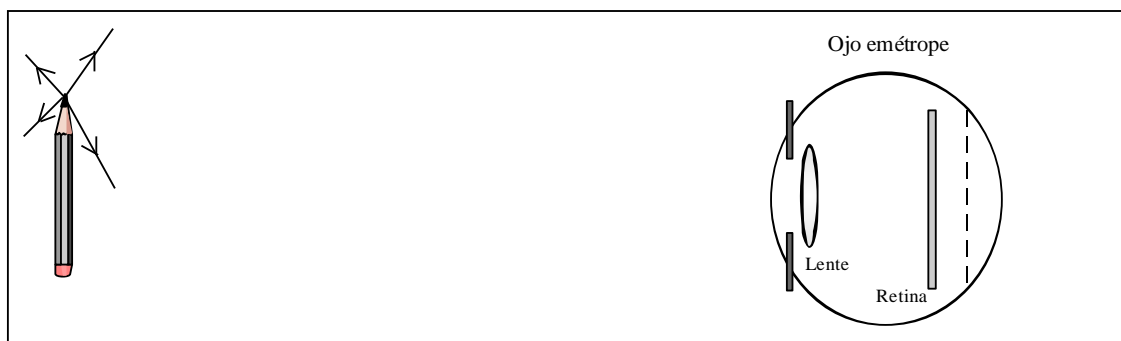


## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

Los objetos muy lejanos formarían la imagen antes de la retina del ojo miope, por lo que no pueden ser vistos con nitidez. Si un objeto lejano se va acercando al ojo miope, la imagen se irá alejando hasta que llegará un momento en que se formará en la retina. La distancia a la que se encuentra el objeto del ojo en ese momento es el punto remoto (varía según el grado de miopía). Si seguimos acercando el objeto, el miope puede verlo nítido acomodando el ojo (aumentando la convergencia del cristalino) para que así la imagen se siga formando en la retina, pero su punto próximo no estará a 25 cm del ojo sino a una distancia menor, ya que empieza a acomodar después que un ojo emétrope. En ese punto la acomodación es la máxima posible. Un miope ve bien objetos muy cercanos (que otras personas verían borrosos), por eso es frecuente ver a personas miopes que sin gafas leen escritos de letra muy pequeña colocándolos muy cerca de sus ojos.

**A.42.** *Dado que la distancia lente-retina no puede ser modificada, proponed una solución óptica para la corrección de la miopía.*

**A.43.** *La hipermetropía es la anomalía visual de los ojos cuya retina está a menor distancia del cristalino que en el ojo emétrope. Dibujad en el esquema un diagrama de rayos para la visión de un objeto alejado.*

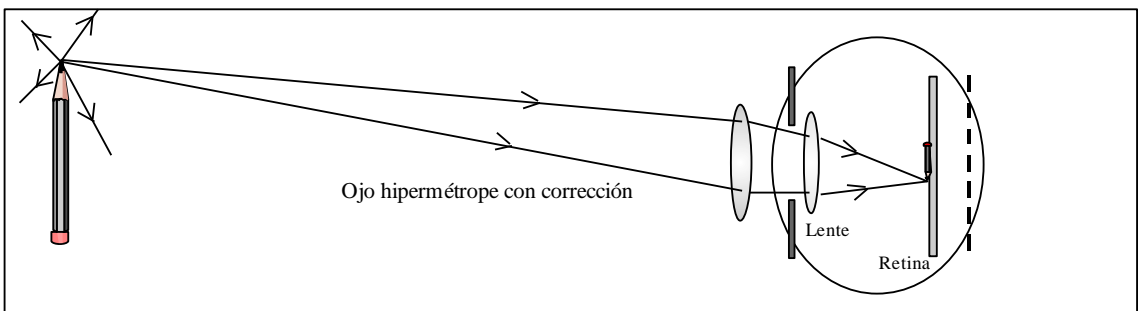
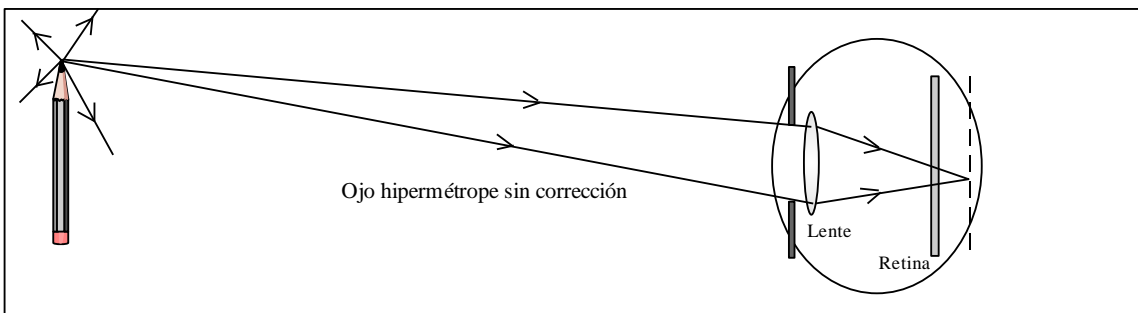
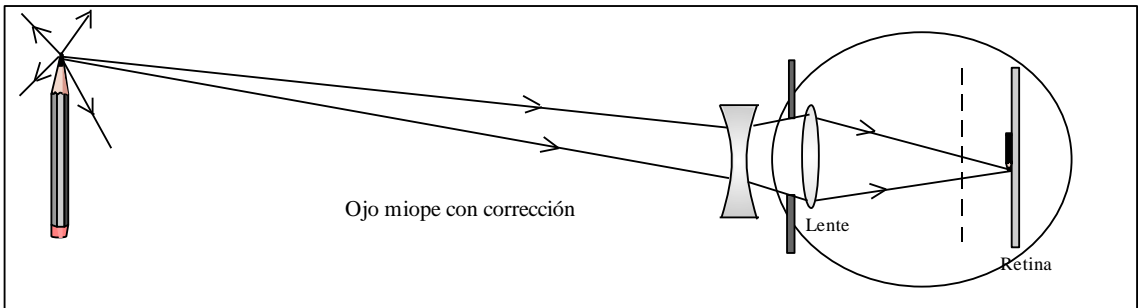
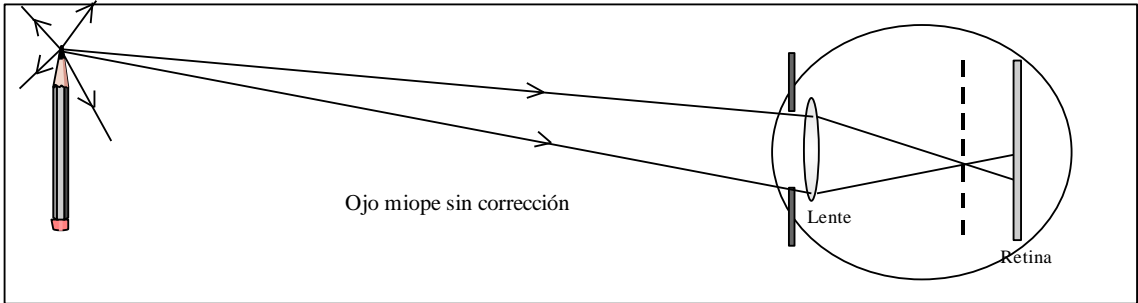
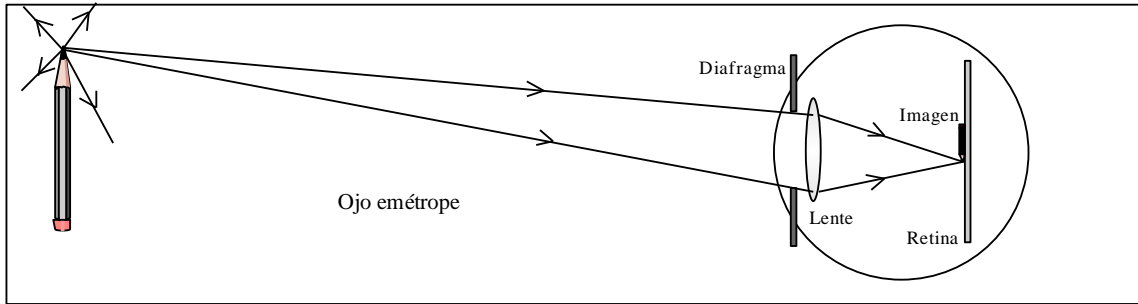


Una persona hipermétrope puede ver con nitidez objetos lejanos acomodando el ojo (mientras que una persona emétrope lo hace sin acomodar). Si acercamos el objeto, acomodando el ojo, un hipermétrope puede conseguir que la imagen se forme en la retina y ver nítidamente (como ocurre en un ojo normal), pero el punto próximo estará más alejado que en el ojo emétrope (ya que el hipermétrope comienza a acomodar antes). Así pues, el hipermétrope no ve con nitidez los objetos situados más cerca de su ojo que su punto próximo. Por tanto, hay una zona que va desde los 25 cm (punto próximo para un ojo emétrope) hasta la distancia a la que tenga el punto próximo el hipermétrope, en la que éste no ve con claridad.

**A.44.** *Dado que la distancia lente-retina no puede ser modificada, proponed una solución óptica para la corrección de la hipermetropía.*

Los esquemas gráficos que se solicitan en las cuatro actividades anteriores se exponen en la página siguiente. En primer lugar se ha construido el diagrama de rayos correspondiente a un ojo normal o emétrope y después los correspondientes a un ojo miope sin y con corrección, análogamente se ha procedido para el ojo hipermétrope. En un nivel elemental, nos bastará con que los alumnos comprendan que la lente divergente utilizada en la corrección óptica del ojo miope tiene unas propiedades ópticas contrarias a las de la gente convergente.

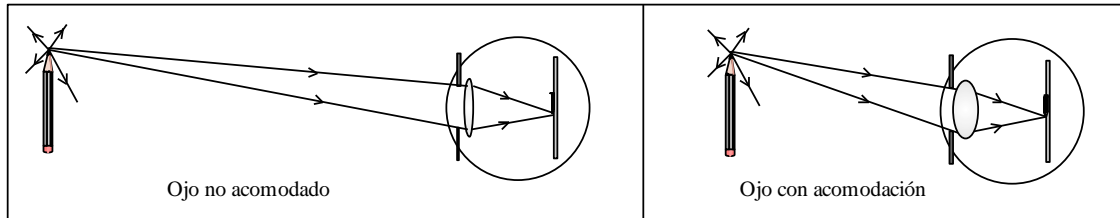
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?



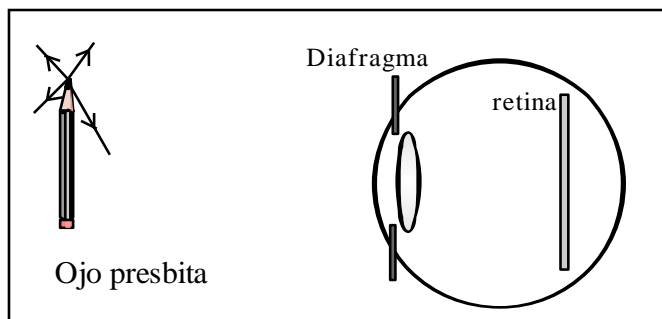
Además de la miopía y la hipermetropía, a partir de los 45 años de edad, aproximadamente, aparece la presbicia ya sea el ojo emétrope o con anomalía visual (miope o hipermetrope). La presbicia es un defecto que todas las personas adquieren con la edad (se denomina

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

también vista cansada). Se produce porque el cristalino pierde flexibilidad y los músculos ciliares se debilitan, por lo que el poder de acomodación disminuye y el punto próximo se aleja. Consiste en la imposibilidad de ver bien los objetos cercanos. Cuando estudiamos el sistema óptico lente convergente-pantalla como modelo de ojo humano, llamamos la atención de que para formar una imagen en una pantalla situada a una distancia fija, la lente debe tener capacidad de variar su curvatura para aumentar el poder de convergencia de los haces de luz y ver nítido a distintas distancias. Este fenómeno, como ya sabemos, se denominó acomodación y lo realiza en el ojo humano la lente del cristalino. En el siguiente esquema se representa la acomodación de un ojo para poder ver bien objetos cercanos:

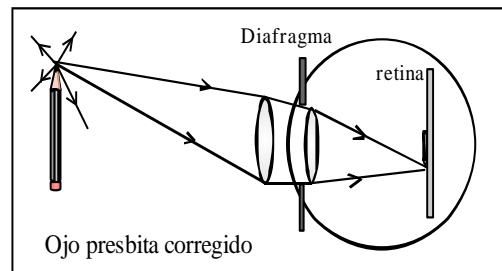
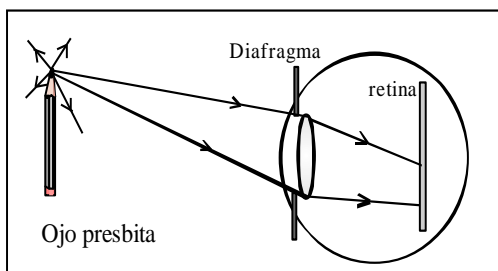


**A.45.** El esquema siguiente representa un ojo presbita, en el que el cristalino no aumenta su curvatura al mirar a los objetos cercanos. Dibujad en él un diagrama de rayos y explicad por qué ve borroso.



**A.46.** Proponed una solución óptica para corregir la presbicia.

Respecto de la corrección de la presbicia, se puede comprender que si la lente del cristalino no puede aumentar su poder de convergencia al mirar a un objeto cercano, el haz de luz procedente de cada punto del mismo convergerá en un punto detrás de la retina. Por ello, la corrección del ojo presbita se realizará con lentes convergentes que equilibren el déficit de convergencia del cristalino. Los esquemas solicitados serán:





La diferencia de la presbicia con la hipermetropía es que una persona con la vista cansada para ver bien de lejos debe quitarse la lente. Por ello es frecuente ver a muchas personas de mediana edad que se ponen las gafas solo cuando tienen que leer o ver bien algo muy de cerca y se las tienen que quitar para ver bien los objetos lejanos. Naturalmente una persona miope o hipermetrope también sufre, con la edad, de vista cansada. Un miope con vista cansada no ve bien los objetos lejanos por ser miope y no ve bien los cercanos por tener la vista cansada. Como para corregir ambos defectos se utilizan lentes diferentes (divergentes y convergentes respectivamente) debería usar dos modelos de gafas o unas bifocales.

### 3.2 ¿Cómo funciona un telescopio?

Además de las gafas para la corrección de las anomalías visuales otra aplicación tecnológica del modelo de visión, de gran impacto social y científico, es el telescopio. El telescopio fue desarrollado a partir del siglo XVI como una herramienta de uso habitual en el campo militar y en el científico, sobre todo en astronomía. Sin embargo, al principio, su aceptación tuvo dificultades ya que las observaciones que se hacían con él cuestionaban las teorías del Universo hasta entonces aceptadas. Se sabe, por ejemplo, que con un telescopio construido por él, Galileo observó cuatro lunas de Júpiter que giraban alrededor del planeta y también pudo comprobar que en la Luna había cráteres y montañas, lo que contradecía las ideas aceptadas en esa época de que todos los astros giraban alrededor de la Tierra y la materia celeste era muy distinta que la terrestre. Por otro lado, la ausencia de un modelo de visión que explicara su funcionamiento, hacía que se desconfiara de lo que no era visto a “simple vista”.

En síntesis, el telescopio de Kepler consiste en un sistema de dos lentes convergentes: la primera de ellas, el objetivo, es una lente convergente casi plana. Esta lente al tener poco poder de convergencia formaría, de un objeto alejado, una imagen de gran tamaño en una pantalla alejada. Una lente de 1 dioptría, que es una lente habitual en la corrección de la visión, formaría la imagen de un objeto alejado a 1 m de distancia y una lente convergente de 2 dioptrías a 0,5 m de distancia. La imagen formada por ese tipo de lentes se puede ver sin pantalla (como quedó establecido en la A.37) si situamos el ojo detrás de ella en la dirección de propagación de la luz. Con las indicaciones que aportamos en las siguientes actividades y con materiales baratos es posible construir un telescopio del mismo tipo que construyó Kepler

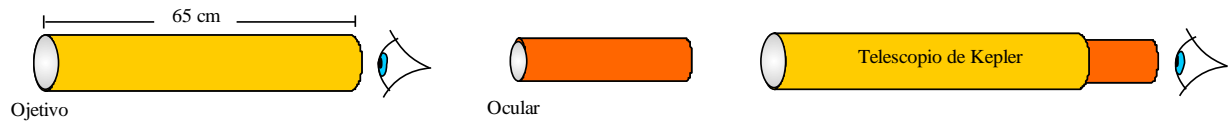
#### *A.47. Construid un telescopio de Kepler a partir de las siguientes indicaciones:*

Pegad una lente convergente de dos dioptrías en el extremo de un tubo de cartón del mismo diámetro de la lente y de una longitud de algo más de 60 cm. Situada el ojo en la posición del esquema y comprobad las características de la imagen que se ve al mirar a un objeto lejano.

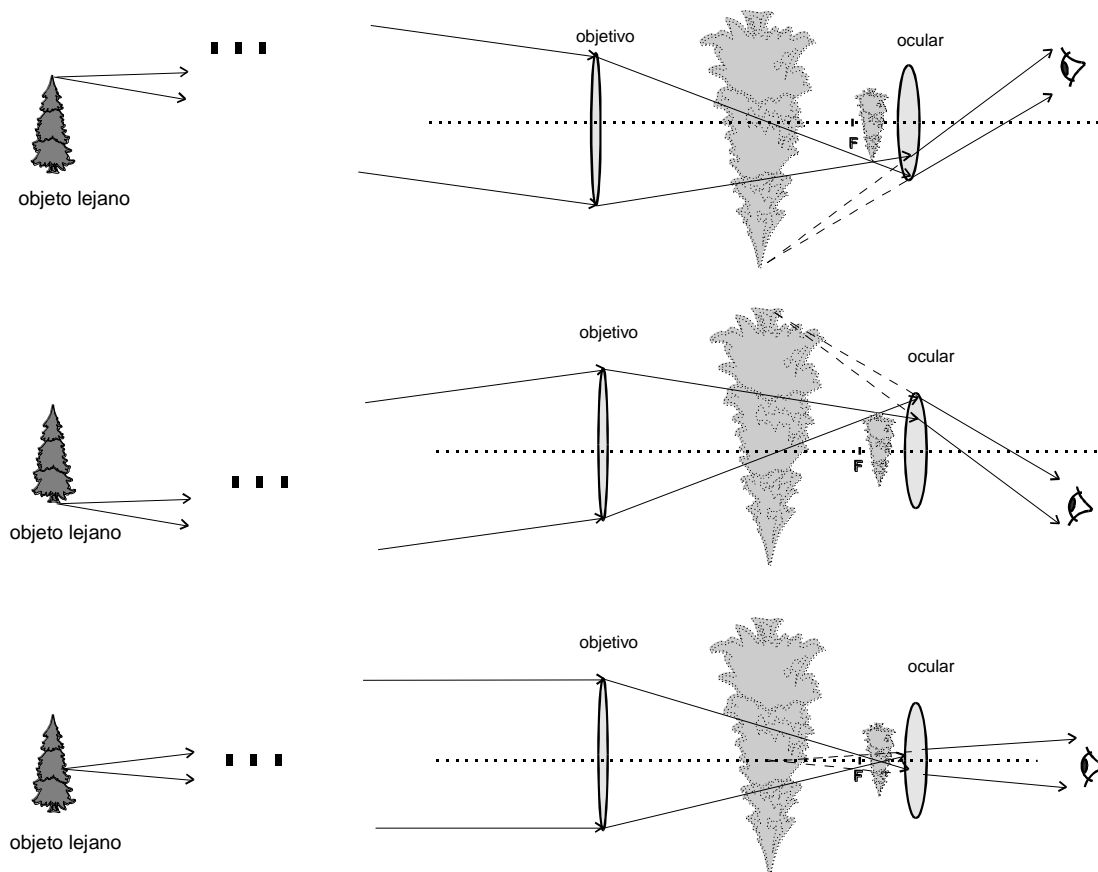
Para ver con mayor aumento esa imagen, podemos mirarla con una lupa. Se pueden encontrar lupas baratas de 10 dioptrías en el mercado. También se puede obtener una buena lupa (aunque de muy poco diámetro) extrayendo la lente de una cámara fotográfica desechable. Estas lentes son de unas 33 dioptrías y tienen el foco a unos 3 cm. Para que la lente que se coloca en el ocular, funcione como lupa, la imagen obtenida con el objetivo debe estar situada entre el foco del ocular y el ocular. Podemos ajustar las distancias o enfocar, montando el ocular en un tubo de diámetro más pequeño que se pueda mover hacia delante y

## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

hacia atrás dentro del otro tubo. Es muy importante para obtener una buena visión que los centros de las lentes estén alineados.



La construcción de un telescopio de Kepler en este nivel educativo, siguiendo las instrucciones dadas en la actividad, pretende únicamente que los estudiantes puedan apreciar las mejoras de visión que se consiguen con estos dispositivos. Los trazados gráficos que explican el aumento de un telescopio superan los objetivos de enseñanza en este nivel, por lo que los que presentamos a continuación ofrecen una justificación cualitativa a los estudiantes interesados.

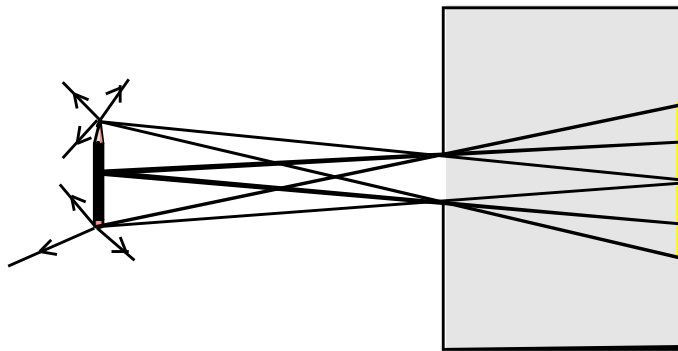


### 3.3. ¿Cómo funciona una cámara fotográfica?

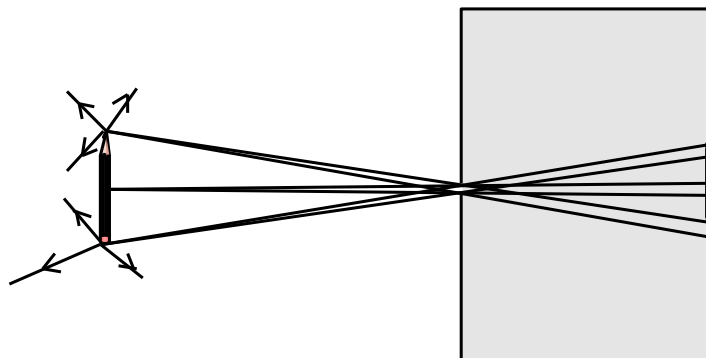
Una consecuencia de la propagación rectilínea de la luz es la formación de una imagen dentro de una caja hermética en una de cuyas paredes se ha practicado un orificio por el que entra la luz procedente de un cierto objeto (cámara oscura). Se trata del antecedente de la cámara fotográfica.

**A.48.** *En una caja herméticamente cerrada se ha practicado con un clavo fino un pequeño orificio por donde entra la luz. Proceded a construir el diagrama de rayos y explicad qué se vería en la pared de enfrente. Predecid qué efecto tendrá el que el orificio de entrada de luz tenga más o menos diámetro.*

Si el orificio se hace grande, en la cara opuesta aparece una iluminación más o menos uniforme sin que se aprecie ninguna imagen nítida. Ello se explica porque desde cada punto del objeto penetra en la caja un haz de luz, colimado por el orificio, que incide en la cara opuesta. Si los haces son amplios (como en la figura de abajo), a un mismo punto de la pared llegarán haces procedentes de muchos puntos distintos del objeto, lo que producirá una iluminación bastante uniforme en todos los puntos de la pared situados frente al orificio.



Si vamos reduciendo el tamaño del orificio se reducirá también el tamaño del haz, apreciándose que la iluminación será cada vez menos uniforme, hasta que se llega a ver una imagen del objeto, tanto más nítida cuanto más estrechos sean los haces que llegan a la superficie (al mismo tiempo, al entrar menos luz, la imagen se hace menos luminosa). Sin embargo, en este proceso no se forma estrictamente una imagen óptica tal y como se desprende del modelo de Kepler, ya que los haces procedentes de cada punto del objeto no convergen en sendos puntos de la pantalla. Pero, dado que la retina del ojo humano está formada de células sensitivas de tamaño apreciable, cuando el agujero de la cámara oscura es pequeño, la imagen en la retina de la mancha luminosa que se forma en su pantalla, tiene un tamaño comparable al tamaño de las células sensitivas. Así pues, el poder de resolución del ojo está limitado por el tamaño de esas células y no le es posible distinguir en esa pequeña mancha luminosa varios puntos. A efectos de la visión humana, podemos decir que se ve una imagen en la pantalla. Esa imagen es real e invertida y colocando una película fotográfica se puede obtener una foto del objeto (aunque haría falta mucho tiempo de exposición).

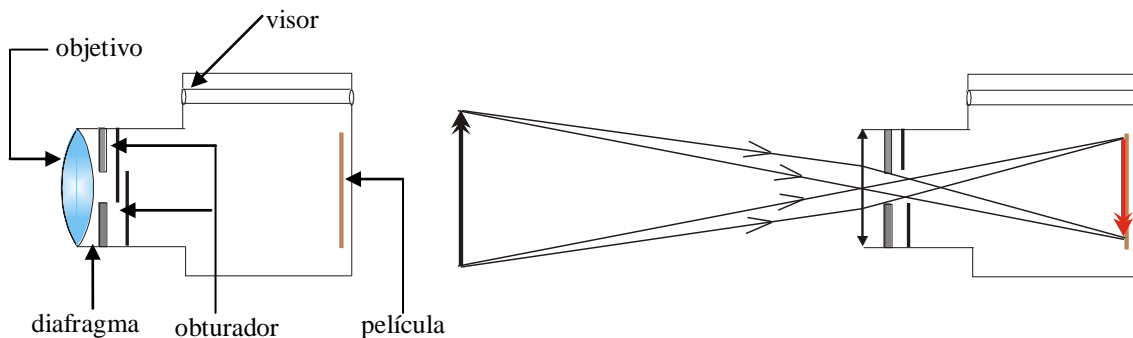


## 10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

*Se puede proponer a los alumnos la construcción de una cámara oscura muy sencilla si disponemos de un cilindro de cartón opaco abierto por uno de los extremos (vale también un bote de conservas cilíndrico sin una de las tapas). En el centro del círculo correspondiente al extremo cerrado le hacemos un pequeño orificio con una aguja o la punta de un clavo fino. A continuación, con una cartulina negra que enrollaremos dentro del cilindro de cartón o bote y cinta adhesiva, fabricamos un segundo cilindro que encaje dentro del primero, recubriendo uno de sus extremos con papel vegetal (semitransparente) de forma que éste quede perfectamente liso y sin ninguna rendija. Con este dispositivo ya montado podemos enfocar cualquier objeto bien iluminado y ver que se forma su imagen en el papel vegetal.*

Una cámara fotográfica tradicional es básicamente una cámara oscura a la que se le han realizado diversas mejoras que permiten obtener imágenes más nítidas con tiempos de exposición muy cortos. En primer lugar, se le ha adaptado una lente convergente cuya separación de la pantalla es regulable para enfocar objetos a distintas distancias (objetivo). Gracias a esa lente se forma una verdadera imagen óptica y se pueden corregir las borrosidades que se observarían cuando el diafragma dejara libre un agujero grande en la cámara. Además, el tamaño del orificio por donde entra la luz se puede regular mediante un diafragma de diámetro variable. En los días de poca luz el diafragma está más abierto y viceversa. En cualquier caso, para conseguir que el tiempo de exposición de la película a la luz sea el adecuado, existe una cortinilla (obturador) que se puede abrir y cerrar a voluntad, controlando así dicho tiempo (cuanto menor sea la abertura del diafragma mayor debe ser el tiempo de exposición y viceversa).

La película fotográfica contiene productos químicos sensibles a la luz los cuales sufren un cambio al ser alcanzados por ella. Posteriormente, en el revelado, ciertas reacciones químicas hacen que las partes alteradas por la luz se ennegrezcan (obtención del “negativo”).



Desde hace ya años, las cámaras fotográficas tradicionales han sido sustituidas, mayoritariamente, por otras cámaras digitales en las cuales ya no hay ningún carrete o película de fotos, utilizando en su lugar un sensor de imagen y programas informáticos para su tratamiento.

#### 4. CONCLUSIONES Y PROBLEMAS ABIERTOS

Hemos elaborado un modelo de visión con el que podemos explicar la forma y el tamaño con que vemos los objetos directamente. Al poner a prueba este modelo para explicar la visión a través de un espejo plano o cuando el objeto está sumergido en un medio transparente, hemos debido formular nuevas hipótesis sobre el comportamiento de la luz como la reflexión y la refracción. Además, con este modelo de visión, hemos podido comprender qué es lo que hace que un ojo sea miope, hipermetrope o presbita y con qué tipo de lentes corregir esas anomalías visuales. El modelo de visión y el comportamiento de la luz frente a las lentes convergentes también nos ha permitido entender cómo podemos ver aumentados los objetos lejanos haciendo uso del telescopio de Kepler y cómo funciona una cámara fotográfica tradicional. Al final del tema se han incluido algunas cuestiones que permiten evaluar la persistencia de posibles obstáculos al modelo de visión. Finalmente conviene indicar que los avances conseguidos sobre cómo vemos y sobre el comportamiento de la luz permiten plantear nuevos interrogantes para profundizar en el modelo de visión humano.

*A.49. Enunciad algunos problemas que podamos plantear como consecuencia del estudio realizado y que el modelo de visión elaborado no ha resuelto.*

En este tema hemos asignado un conjunto de propiedades a la luz para explicar la visión en distintos contextos: hemos supuesto una propagación rectilínea en cada medio y en todas las direcciones desde cada fuente puntual, hemos supuesto que se refleja en los espejos o se refracta al cambiar de medio, etc., con lo que podemos plantear ¿qué es la luz?, ¿cuál es su naturaleza para que su comportamiento sea el que hemos descrito? También podemos plantear interrogantes que atañen a la cuantificación necesaria a toda ciencia. Hemos estudiado el comportamiento de las lentes convergentes pero ¿podemos caracterizar cada tipo de lente de forma que sepamos la distancia a la que hay que poner la pantalla para ver la imagen, o para corregir un determinado grado de anomalía visual? De igual modo, podemos plantear ¿cómo vemos el color?, una sensación que acompaña a la visión de la forma y el tamaño de los objetos y que puede ser objeto de una secuencia de enseñanza posterior.

#### Referencias bibliográficas

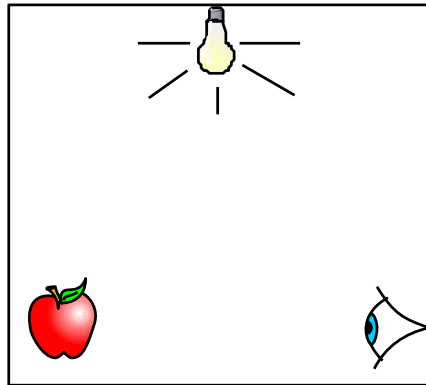
- ANDERSSON, B. y BACH, F. (2004). On Designing and Evaluating Teaching Sequences Taking Geometrical Optics as an Example. *Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)*, DOI 10.1002/sce.20044
- CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ, S., ALONSO, M. (2013). Física 2º Bachillerato. Edita: Gráficas E. Corredor (C/ Cuenca, 138. Valencia 46007).
- OSUNA, L. (2007). *Planificación, puesta en práctica y evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria*. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Valencia.
- OSUNA, L.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. Y MENARGUES, A. (2012). Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), pp 295-317.
- OSUNA, L.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; CARRASCOSA, J. Y VERDÚ, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 25(2), pp. 277-290.

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. En una habitación iluminada una persona ve una manzana.

a) Después de leer atentamente todas las opciones, señala con una **x** aquella que te parezca la mejor explicación acerca de por qué la persona ve la manzana:



- Porque el ojo envía la mirada hacia la manzana.
- Porque de la manzana sale una imagen que llega hasta el ojo
- Porque la imagen que sale de la manzana se encuentra con la mirada que le envía el ojo
- Porque de la manzana sale luz que llega hasta el ojo.
- Otra explicación (solo si no estás de acuerdo con ninguna de las anteriores) ....

b) Completa el esquema con los trazados de rayos de luz que consideres necesarios para justificar tu elección.

2. Completa los dibujos siguientes para mostrar lo que, en tu opinión, le ocurre a la luz del foco que llega al espejo y a la que llega a la hoja de papel. Da las explicaciones que creas necesarias.

Foco de luz ●

Foco de luz ●

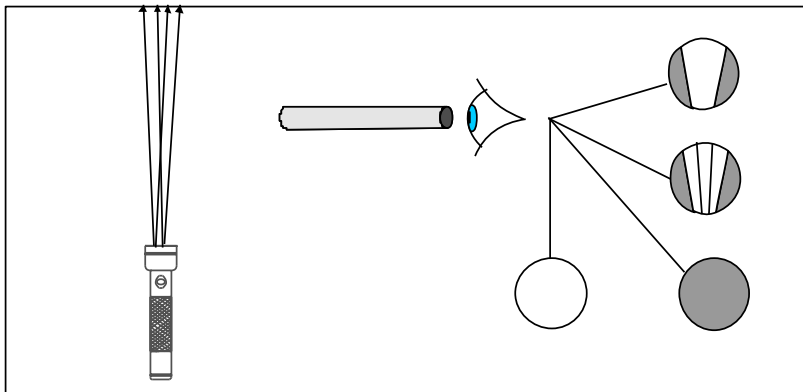
Espejo \_\_\_\_\_

Papel \_\_\_\_\_

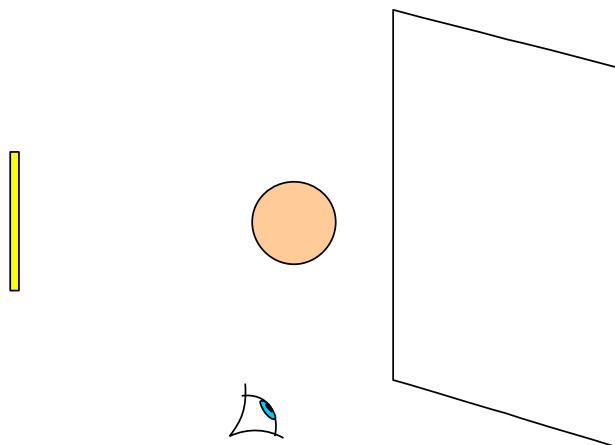
3. Imagina que te encuentras dentro de una habitación cerrada y en total oscuridad. Señala con una **x** la o las afirmaciones que consideres correctas:

- Podrías ver solo los objetos muy pulidos (como, por ejemplo, un espejo).
- Al principio no verías nada pero al cabo de un tiempo te acostumbrarías a la oscuridad y podrías distinguir débilmente las formas de los objetos cercanos.
- Si te acompañase tu gato, podrías verle los ojos.
- Algunos animales como tu gato o un búho si verían algo.
- Ninguna persona ni ningún animal podría ver absolutamente nada.

4. Una persona se halla dentro de una habitación cerrada de paredes negras donde la única fuente de iluminación es una linterna y mira por el tubo hacia el haz de luz tal y como se indica en la figura. ¿Qué vería en esa situación? Señala con una **x** la opción que creas más correcta.



5. Un tubo fluorescente está encendido y es la única fuente de iluminación de la habitación. Si delante de él se coloca una pelota, ¿qué se verá en la pared que hay detrás de ella? Completa el dibujo con los trazados de rayos de luz que estimes oportuno para justificar tu respuesta.



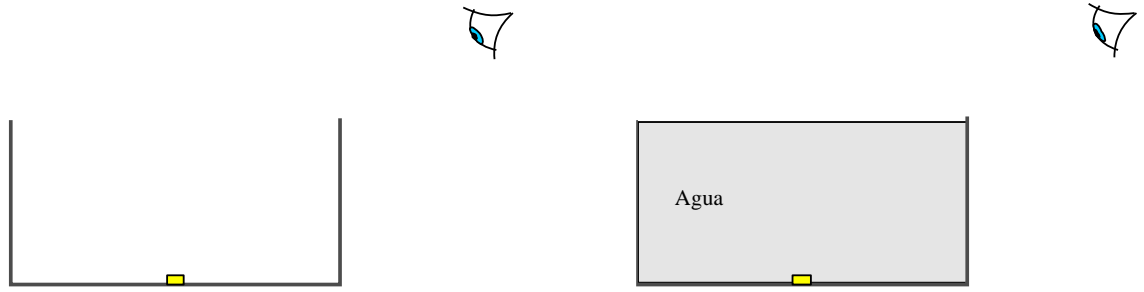
6. El dibujo representa una persona que ve la imagen de una moneda al mirar a un espejo. Después de leer atentamente las siguientes frases, señala con una **x** aquella que en tu opinión sea la mejor explicación sobre cómo vemos esa imagen al mirar al espejo:

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_



El ojo envía la mirada que rebota en el espejo y llega a la moneda  
Una imagen de la moneda llega al espejo, rebota y llega hasta el ojo.  
Una parte de la luz que sale de cada punto de la moneda rebota en el espejo y llega hasta el ojo.  
Una imagen de la moneda llega hasta el espejo y se queda en él. El ojo envía la mirada hacia esa imagen.  
Otra explicación (solo si no estás de acuerdo con ninguna de las anteriores) .....

7. Desde la posición donde se encuentra el ojo no se puede ver la moneda del fondo del recipiente pero si éste se llena con agua sí que se puede. ¿A qué se debe? Completa los dibujos con los trazados de rayos de luz necesarios para justificar tu respuesta.



### SISTEMA DE EVALUACIÓN

A lo largo del tema existen ocasiones reiteradas para que los estudiantes evalúen sus conocimientos y sean conscientes de sus avances. Ejemplos de estas actividades son:

En primer lugar, A.16 y A.17, al final del apartado 1.1, sobre la relación entre el objeto, la luz y el ojo. El profesor y los estudiantes podrán evaluar si se han conseguido las siguientes ideas clave para la comprensión de cómo vemos:

- La visión se produce por recepción en el ojo de la luz emitida por los objetos
- La luz se propaga desde cada punto de las fuentes luminosas en todas las direcciones y no es visible en si misma
- Para interpretar los fenómenos ópticos es necesario trazar haces divergentes de luz desde cada punto. Los rayos que limitan cada haz de luz no son nada de la propia luz.
- Las fuentes luminosas extensas pueden considerarse como conjuntos de fuentes puntuales
- La luz es una entidad física, independiente de las fuetes y del ojo, que se propaga en el vacío a 300000 km/s



Al final del segundo apartado, sobre cómo funciona el ojo humano y donde se completa el modelo de Kepler para la visión directa, se proponen las actividades A.26 y A.27. En ellas, además de las ideas señaladas en las actividades comentadas anteriormente, los alumnos y profesores tienen ocasión de evaluar y ser conscientes de los siguientes avances que superan ciertas ideas alternativas muy comunes en la población:

- El ojo humano puede estudiarse como si fuera un sistema óptico formado por una lente de convergencia variable y una pantalla sensitiva conectada al cerebro
- Para ver, es necesario formar una imagen óptica en la retina. La imagen se forma de la siguiente manera: cada haz divergente de luz emitido por cada punto del objeto, después de entrar en el ojo, converge hasta un punto de la retina. Como en cada punto de la imagen se concentra parte de la luz emitida por cada punto del objeto, la forma y tamaño de la imagen que percibimos es una réplica a escala del tamaño y forma del objeto que vemos.
- Para ver bien los objetos cercanos, la lente del cristalino aumenta su curvatura (acomodación) con lo que los haces de luz acaban convergiendo y formando la imagen en esa misma pantalla (la retina).

Por último, al poner a prueba el modelo de Kepler en situaciones de visión indirecta, se proponen la A.34, sobre la visión en un espejo plano, y A.38, sobre la visión a través de lentes. En ambas, se vuelven a plantear aspectos básicos ya tratados en las actividades de evaluación anteriores, pero además los estudiantes y profesores tienen oportunidad de evaluar y ser conscientes de los siguientes avances:

- La imagen virtual la localiza el ojo en el origen directo del haz divergente de luz que incide en el ojo, aunque de él no proceda la luz. Por lo que la imagen no se traslada entera, ni se localiza en el espejo o la lente.
- La imagen real es posible verla en ausencia de pantalla, cuando incide en el ojo un haz divergente de luz y éste se sitúa en la dirección de la propagación, cómo ocurre en el caso de la A.37

Además, el profesor puede proponer como actividades de evaluación, en los momentos que crea necesario, cualquiera de las actividades que se exponen en el apartado de Actividades complementarias al final de la secuencia de enseñanza.

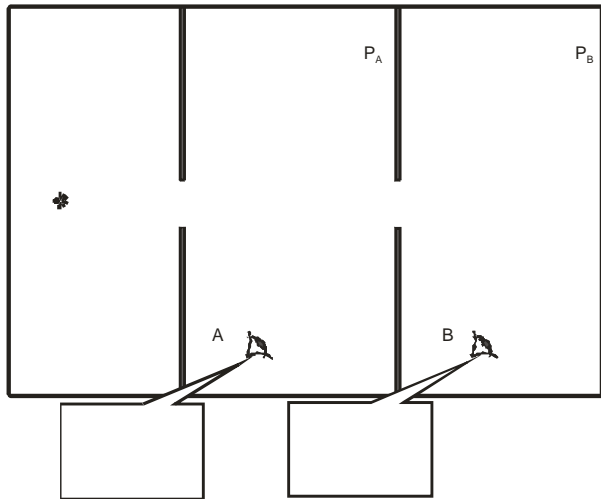
Por otro lado, presentamos una prueba global de evaluación, en caso de considerarse necesaria además de las actividades ya señaladas.

## **PRUEBA DE EVALUACIÓN GLOBAL**

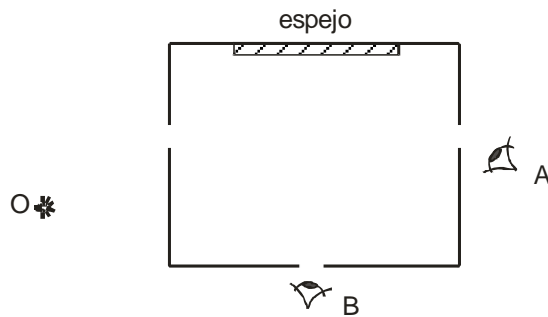
**1.** En el interior de una habitación limpia y de paredes negras hay una pequeña bombilla y tres pantallas (blancas por la cara enfrentada a la bombilla y negras por la otra), como se muestra en el esquema. Las dos primeras pantallas tienen agujeros circulares iguales. Se pide:

- a) ¿Qué verán los observadores A y B cuando miren a las pantallas respectivas  $P_A$  y  $P_B$  en esa situación?
- b) Dibuja representaciones de rayos que justifiquen tu predicción

10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_



2. Una caja limpia y de paredes negras tiene un espejo en una de sus caras. Por un orificio se ilumina con una pequeña bombilla (O). En el esquema se representa una sección horizontal de esta situación. Se pide:



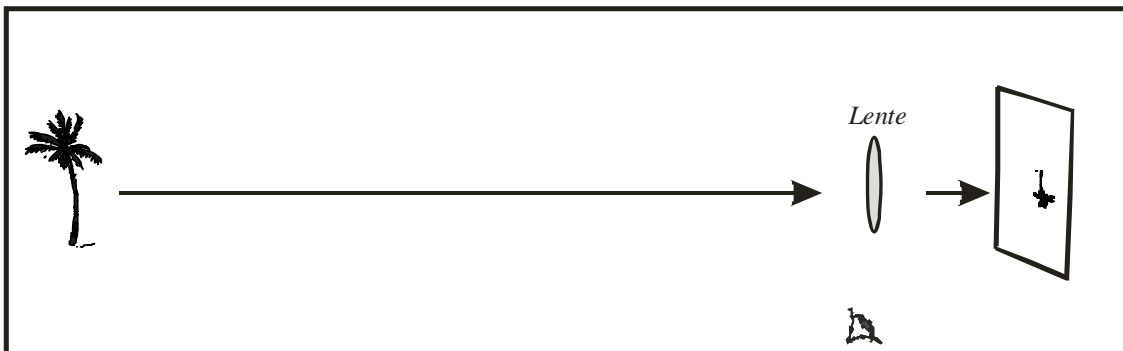
a) ¿Qué verán los observadores A y B que miran por sendos agujeros de la caja en dirección al espejo?

b) Dibuja las representaciones de rayos que creas necesario y justifica tus respuestas

3. Una persona que no ha estudiado óptica observa la siguiente experiencia: con una lente convergente y una pantalla se puede ver en ella la imagen invertida de un árbol que hay en el exterior del aula. Esta experiencia la explica diciendo que “la imagen sale del árbol, se invierte y se hace más pequeña al atravesar la lente y se pega a la pantalla”. Además dibuja un esquema como el que se muestra a continuación. Haciendo uso de lo que has aprendido en clase de óptica, se pide:

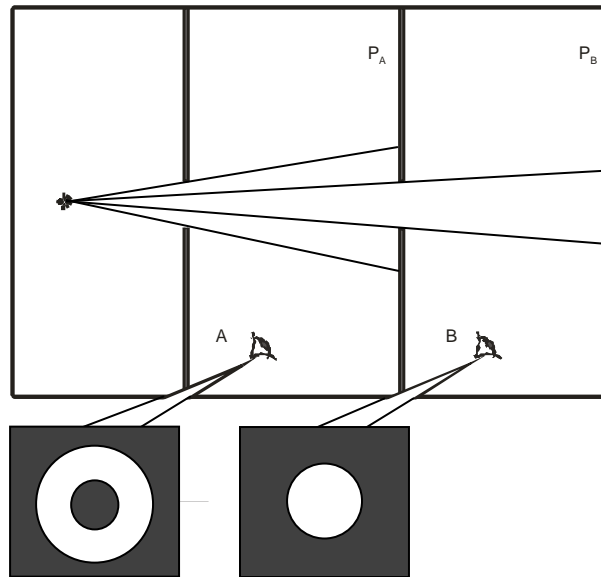
a) Da argumentos a esa persona para convencerle de su error

b) Dibuja una representación gráfica mejor



### Comentarios a la prueba de evaluación global

En la cuestión 1, se pretende evaluar si los estudiantes representan haces divergentes de luz desde la fuente puntual para predecir lo que verán en esas situaciones y los trazan correctamente en cada uno de los casos. Es usual que en los libros de texto, para explicar la propagación rectilínea de la luz, usen representaciones con un único rayo atravesando los agujeros, por lo que no pueden explicar lo que se ve en las pantallas. Es de esperar que los alumnos hayan aprendido estos conocimientos y completen esquemas como los siguientes:

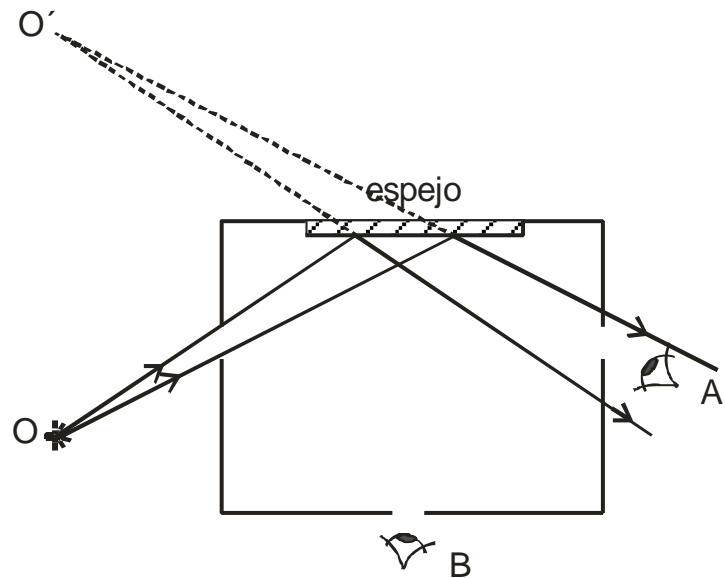


Llamamos la atención de que la luz que atraviesa el agujero no es visible y, puesto que desde él no se envía luz al ojo, el observador A verá esa zona negra, rodeada de una corona circular blanca (zona de la pantalla iluminada), mientras que el observador B, lo que verá será únicamente un círculo blanco (zona de la pantalla iluminada).

En la cuestión 2, se pretende evaluar si los estudiantes han superado los siguientes aspectos clave del modelo de visión:

- La luz no es visible en sí misma por lo que el observador B no ve nada y el observador A no ve luz aunque incida en su ojo.
- Dado que al observador A le llega un haz divergente de luz, verá un punto luminoso en el origen directo de ese haz, por lo que verá la imagen virtual de la bombilla (O), considerada puntual.
- Es necesario la construcción de trazado de rayos como el siguiente, para explicar la posición de la imagen después de la reflexión de la luz en el espejo plano.

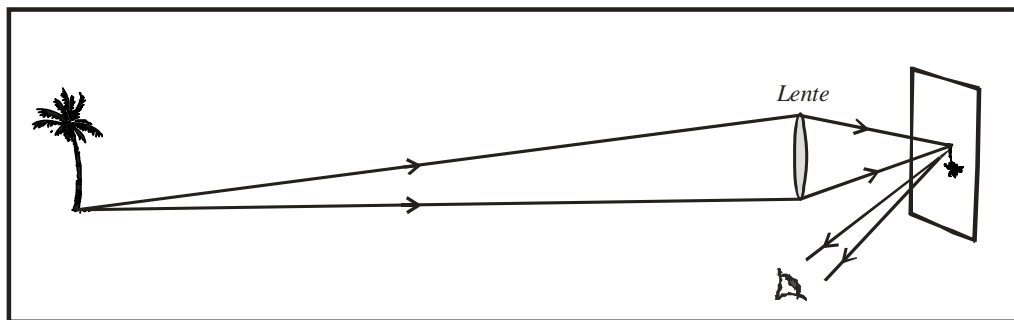
10. Luz y visión: ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor? \_\_\_\_\_



En la cuestión 3, sobre la formación de una imagen extensa se pretende evaluar si los estudiantes han superado los siguientes aspectos:

- La consideración de los objetos como fuentes luminosas
- La consideración de los objetos extensos como conjuntos de fuentes puntuales
- La representación de hacer divergentes de luz desde cada fuente puntual
- La formación de la imagen óptica a partir del conjunto de puntos donde convergen los haces después de atravesar la lente
- La necesidad de considerar al ojo que mira la pantalla como parte del sistema óptico y recibe luz de cada punto de la imagen de la pantalla
- Los alumnos pueden ofrecer, además, observaciones que contradicen el trazado de “esa persona”. Entre ellas, que la imagen siga viéndose entera cuando se tapa parte de la lente, o que la imagen se forme en una única posición de la pantalla

Para cada punto del objeto el trazado gráfico sería:



## 11. DEL CAMBIO CLIMÁTICO HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE UN FUTURO SOSTENIBLE

Actualmente estamos asistiendo a un verdadero cambio climático terrestre. Eso significa que a escala global se modifican condiciones ambientales como la temperatura media del aire, las precipitaciones o la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (como huracanes o inundaciones).

Durante la larga historia de la Tierra ya han ocurrido muchos cambios climáticos y en ocasiones de tal magnitud que se produjeron extinciones masivas de especies terrestres y marinas y el planeta casi dejó de ser apto para la vida. Sin embargo, el cambio climático actual tiene unas características que lo hacen diferente a todos los anteriores. La principal es su origen **antrópico**, es decir, somos los seres humanos los responsables. Se trata, además, de un cambio global ya instalado entre nosotros y que constituye, muy posiblemente, el mayor reto al que hemos de hacer frente, dadas sus graves consecuencias presentes y futuras.

*¿Qué nos interesa conocer respecto del cambio climático?*

Cuando hemos ensayado esta actividad con alumnos de secundaria, la mayoría de las diferentes propuestas se pueden agrupar en torno a los siguientes problemas:

- ¿En qué consiste el cambio climático actual?
- ¿Qué consecuencias tiene?
- ¿Cuáles son sus causas?
- ¿Cómo podemos hacerle frente?

Estos van a ser los problemas estructurantes de este tema. En el primero de ellos, tendremos que referirnos a los gases de efecto invernadero y al problema del calentamiento global ocasionado por el aumento en la concentración de estos gases. Ello permite enlazar con el segundo y señalar algunas de las consecuencias de dicho calentamiento (que constituyen a su vez serios problemas que afectan a todo el planeta). La búsqueda de soluciones al cambio climático requiere que antes nos detengamos en analizar sus causas profundas, lo cual conduce inevitablemente a considerar otros problemas globales como, por ejemplo, el modo actual de crecimiento económico (basado en el hiperconsumo), la superpoblación o la existencia de graves desigualdades entre distintos grupos humanos. La estrecha relación entre todos ellos, mostrará que no podemos solucionar ninguno de ellos sin tener en cuenta a los otros y que, consecuentemente, es necesario un tratamiento simultáneo de todos ellos desde todos los frentes (científico-tecnológico, político, social y educacional) para avanzar, no solo en la solución al cambio climático, sino también en la transición hacia un futuro sostenible para la toda la humanidad.

## 1. EL CLIMA TERRESTRE COMO SISTEMA AUTORREGULADO

El **tiempo** meteorológico viene dado por las propiedades de la troposfera (temperatura, humedad, cobertura de nubes, viento, precipitaciones, etc.) en un lugar y momento dados. Por el contrario el **clima** en una zona determinada puede definirse, de forma aproximada, como el promedio del tiempo en dicha zona a largo plazo (30 años o más), incluyendo las variaciones estacionales y los posibles fenómenos extremos (huracanes, sequías, lluvias torrenciales...).

El sistema climático es un sistema complejo e interactivo y está formado principalmente por los siguientes componentes: Atmósfera + suelo terrestre + hielo y nieve + mares y océanos + agua dulce (líquida) + vegetación



La atmósfera es el componente que caracteriza el clima, fundamentalmente por la temperatura del aire y por la cantidad de precipitaciones (con sus variaciones estacionales). Los distintos patrones de temperatura y precipitaciones de unas regiones a otras, conducen a los diferentes tipos de clima en el planeta (cálido, templado, seco, tropical, etc.). Dichos patrones son producidos en gran parte por la forma de circular el aire sobre la superficie terrestre.

El clima terrestre viene determinado fundamentalmente por los siguientes factores:

**Propiedades del aire y del agua:** Cuando el agua de los océanos se calienta parte de ella se evapora y asciende. Ello se da especialmente cerca del ecuador, formándose zonas de baja presión en la superficie y creándose corrientes de masas de aire cálido ascendente. Al subir el aire caliente y húmedo se enfría liberando humedad y también energía (al condensar el vapor de agua), con lo que dicho aire se vuelve más frío y seco (y, por tanto, más denso), cayendo y creando una zona de alta presión. Cuando esas masas de aire fluyen a través de la superficie de la Tierra captan humedad y energía de nuevo, repitiéndose el proceso. Se llaman células de convección y hacen circular aire, calor y humedad, de unas zonas a otras.

**Radiación solar que llega a la Tierra** (suministra energía y varía periódicamente debido a diversos cambios astronómicos).

**Desigual calentamiento de la superficie terrestre** (mucho mayor en el ecuador, donde los rayos solares inciden perpendicularmente durante todo el año, que en los polos).

**Inclinación del eje terrestre** (crea estaciones de signo opuesto en ambos hemisferios).

**Giro de la Tierra sobre su eje** de oeste a este (evita que las corrientes de aire vayan derechas al N y S desde el ecuador, haciendo que se desvíen principalmente hacia el E en el hemisferio norte y hacia el O en el sur).

Por otro lado, la circulación atmosférica influye en la **circulación oceánica** mediante la acción de los vientos sobre las aguas de la superficie marina y los cambios de temperatura y salinidad ocasionados por las precipitaciones y la evaporación. Las **corrientes oceánicas** contribuyen también a redistribuir la energía recibida del Sol influyendo en el clima y en la vegetación (especialmente cerca de la costa). Así, por ejemplo, sin la corriente del Golfo (que transporta unas 25 veces más agua que todos los ríos del mundo), el clima de Europa noroccidental sería subártico. Estas corrientes ayudan también a distribuir nutrientes y oxígeno disuelto, fundamentales para la vida acuática.

También influyen en el clima, la **composición de la atmósfera** (porcentaje de los distintos gases que forman el aire sea cual sea su origen) y presencia en ella de **nubes y aerosoles**, así como la existencia y distribución en la superficie terrestre de **cadena montañosas, ríos y lagos, masas boscosas, grandes desiertos, hielo y nieve**.

Así pues, el clima depende factores muy diversos, los cuales cambian a lo largo de periodos más o menos grandes de tiempo, lo que hace que, consecuentemente, el clima se modifique, como de hecho ha ocurrido otras veces en la historia de la Tierra (y seguirá haciéndolo).

Hace poco más de 30 millones de años que se formó el hielo antártico y menos de 3 millones de años que se formó el casquete de hielo ártico en el polo norte. Este último acontecimiento marcó el comienzo de la era cuaternaria que, desde entonces, se caracterizó por una sucesión de periodos glaciales (fríos) de unos 100 000 años de duración, separados por periodos interglaciales (cálidos) de menor duración. No se sabe bien cómo comienzan esos periodos glaciales, pero muchos estudios indican que la cantidad de sol durante el verano es crucial para los continentes del hemisferio norte, ya que si desciende por debajo de un valor crítico, la nieve del invierno anterior no se derrite y los mantos de hielo comienzan a crecer en la medida que se acumula cada vez más nieve. El ritmo de aparición de los periodos glaciales está vinculado, entre otras posibles causas, a la variación periódica de varios factores astronómicos como la excentricidad de la órbita terrestre o la oblicuidad y precesión del eje terrestre.

La última glaciación acabó hace unos 10 000 años. Desde entonces, nuestro planeta disfruta de un clima relativamente estable (con sus diferencias regionales) que, sin duda, ha favorecido el rápido desarrollo de la civilización.

*¿Por qué la temperatura media terrestre se mantiene constante y en torno a 15 °C?*

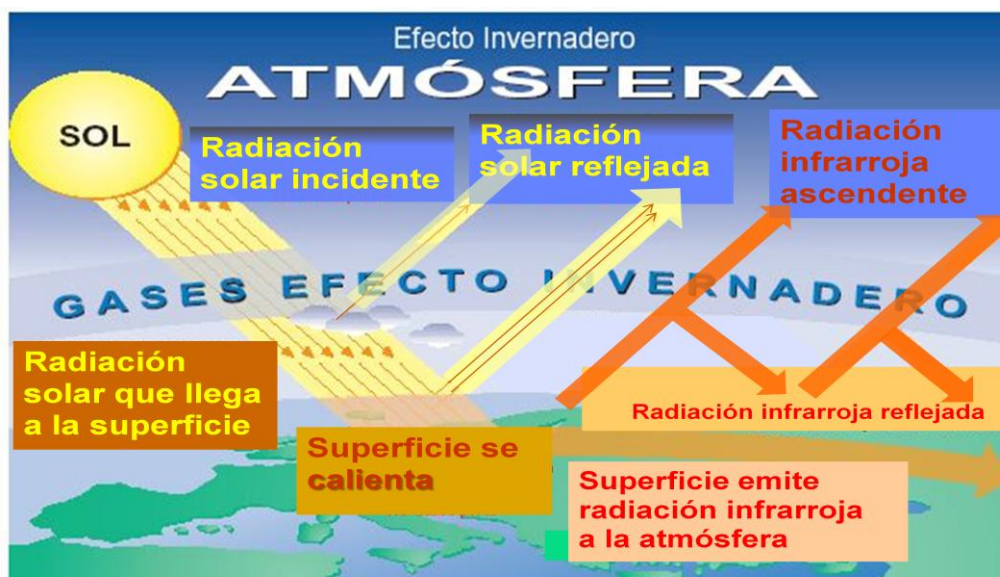
Las radiaciones solares suministran energía al sistema climático. Hay un equilibrio entre la energía absorbida por la Tierra (toda la superficie del planeta y la atmósfera) y la energía emitida al espacio, de forma que la energía absorbida ha de ser igual a la emitida. El clima mundial está determinado por dicho equilibrio.

Sin embargo, cuando se realizan cálculos teóricos sobre cuál debería ser la temperatura media terrestre sin tener en cuenta el papel de la atmósfera, se obtiene un valor en torno

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Obviamente, si esa fuese la temperatura media de nuestro planeta, la vida (al menos como la conocemos hoy) no sería posible. Cabe plantearse, pues, qué es lo que tiene de particular la atmósfera, para que la temperatura media real del planeta sea de unos  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  en lugar de esos  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La mayor parte de la radiación solar que llega a la Tierra atraviesa fácilmente la atmósfera con lo que la superficie del planeta se calienta. Además, la Tierra emite energía hacia el espacio, principalmente mediante radiación infrarroja. Ahora bien, formando parte de la atmósfera terrestre hay vapor de agua y otros gases como el dióxido de carbono, que tienen la propiedad de absorber parte de dicha radiación infrarroja y reflejarla en todas direcciones (incluyendo hacia el suelo de nuevo), haciendo que la temperatura media terrestre sea más alta de lo que lo sería de no existir dichos gases. El resultado es similar al que se consigue dentro de los invernaderos y por eso se habla de **gases invernadero** y de **efecto invernadero**. Así pues, los gases invernadero son los responsables de que la Tierra tenga una temperatura que la hace habitable para los seres humanos y muchos otros organismos.



Fuente original: UNEP-GRID-Arendal. Esquema (muy simplificado) del efecto invernadero.

*Entonces, si el efecto invernadero es bueno ... ¿de qué nos preocupamos?*

El problema no es el efecto invernadero en sí mismo, sino el **aumento del efecto invernadero** que se está produciendo debido a la cantidad de gases invernadero que se vienen emitiendo a la atmósfera de forma continuada y en cantidades crecientes desde los inicios de la era industrial. A continuación trataremos de profundizar en este aspecto.

*Anteriormente hemos visto que la temperatura media del planeta se mantiene constante debido a la existencia de un equilibrio entre la energía que entra y la que sale. ¿De qué formas ese equilibrio puede verse alterado?*

Fundamentalmente mediante los siguientes factores o **forzamientos**:

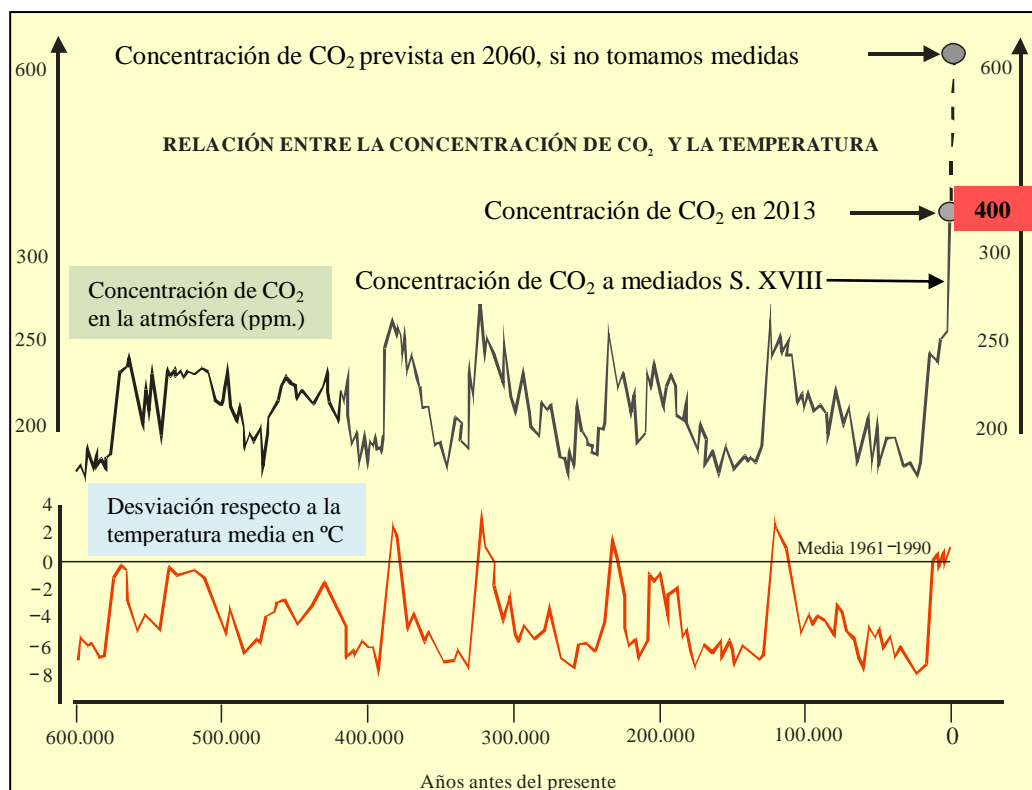
- ✓ Variaciones en la radiación solar incidente. Ligeras desviaciones periódicas en el eje de rotación de la Tierra (tanto en su inclinación como en su orientación), pequeños cambios en la excentricidad de la órbita terrestre y fluctuaciones en la emisión de energía por parte del Sol.



- ✓ Modificando la fracción de radiación solar reflejada por la Tierra. Existe un índice denominado **albedo**, que mide la capacidad de una superficie determinada para reflejar la radiación solar que le llega. Es grande en las superficies blancas o claras y pequeño en las oscuras. El albedo puede modificarse fundamentalmente mediante cambios en las nubes o en las superficies cubiertas de vegetación, hielo o nieve. También influyen en él, los aerosoles o pequeñas partículas en suspensión (como polvo, hollín o sales) presentes en la atmósfera.
- ✓ Variando las concentraciones de los gases invernadero que actúan como un manto parcial para las radiaciones de onda larga emitidas hacia el espacio desde la superficie de la Tierra y desde la atmósfera.

Todos los forzamientos anteriores ya han repercutido muchas veces en los distintos cambios climáticos ocurridos, debido a procesos naturales. Si los forzamientos hacen que el planeta absorba más energía o emita menos hacia el espacio, el equilibrio energético se altera y para restablecerlo la temperatura media del planeta aumenta (y viceversa), de modo que a cada estado de equilibrio le corresponde un valor dado de la temperatura media global en la superficie terrestre.

Aunque los seres humanos no podemos influir en los cambios astronómicos que varían periódicamente de forma natural y que son capaces de alterar el balance de energía al que nos referimos, sí podemos incidir en los dos restantes factores (y, de hecho, lo estamos haciendo). En efecto: El polvo que se produce en canteras, minas y carreteras; contaminantes del aire; cenizas de grandes incendios; humos industriales; deforestación, deshielo, etc., son formas de cambiar el albedo. En cuanto a los gases invernadero, conviene destacar que, gracias a la extracción de muestras de hielo profundo de la Antártida, disponemos de conocimientos precisos sobre la evolución conjunta del clima terrestre y del efecto invernadero y sabemos que los cambios en la concentración de CO<sub>2</sub> se correlacionan estrechamente con las variaciones en la temperatura media de la Tierra.



## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

En la figura anterior, la gráfica de arriba representa las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico desde hace 600000 años hasta el presente (0). La gráfica de abajo muestra la desviación de la temperatura media global del planeta de la temperatura media global correspondiente al periodo 1961-1990 (que se toma como valor 0). Los mínimos corresponden a glaciaciones y los máximos a periodos de calentamiento.

*Comparando las dos gráficas anteriores ¿qué conclusiones se pueden obtener?*

Es evidente que ambas encajan. No sabemos exactamente quién va primero, pero lo que parece claro es que, desde hace más de medio millón de años, los cambios en la temperatura media de la Tierra y en la concentración de CO<sub>2</sub> van juntos.

Durante los últimos 600000 años, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera nunca superó el valor de 300 ppm<sup>1</sup>. Esa concentración oscilaba aproximadamente entre las 280 ppm en los periodos interglaciales más cálidos y las 180 ppm en los periodos glaciales más fríos.

Durante el último período interglacial, hace unos 125.000 años, la temperatura no llegó a superar los 4°C de aumento respecto al nivel 0 (y sin embargo, el nivel medio del mar estaba entre 5 y 10 metros por encima del actual y las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida se hallaban prácticamente fundidas).

También puede verse que a mediados del siglo XVIII la concentración de CO<sub>2</sub> era de unas 280 ppm, pero que ha experimentado un brusco y considerable aumento hasta situarse en las 400 ppm que se alcanzaron en 2013. *¿Qué es lo que ha pasado en los últimos 300 años para que se de ese gran aumento?* Indudablemente el hecho tiene que ver con la revolución industrial, primero con la máquina de vapor y luego con el motor de explosión. El desarrollo de ambos ingenios y su aplicación para obtener cada vez más energía, ha supuesto también la quema de enormes cantidades de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), con la consecuente emisión de miles de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

*Algunas personas piensan que se está sobrevalorando lo que el ser humano es capaz de hacer al planeta y que los cambios que observamos en el clima ocurren de forma natural. Buscad datos pertinentes y después argumentad a favor o en contra de esta idea.*

Es cierto que comparada con nosotros la Tierra es inmensamente grande, pero es necesario tener en cuenta que algo parecido ocurre si comparamos el tamaño del planeta con el de la atmósfera. Para hacernos una idea podemos pensar que si la Tierra se fuese reduciendo hasta tener el tamaño de una manzana, la atmósfera no sería más gruesa que su piel. A pesar de ello, se trata de un componente fundamental del sistema climático.



<sup>1</sup> Esta conclusión, de acuerdo con el V informe del Panel Intergubernamental para el Estudio del Cambio Climático (IPCC) se extiende ahora hasta 800000 años antes del presente.

Una concentración de 300 ppm significa 300 moléculas del gas en cuestión por cada millón de moléculas del total de gases presentes en un volumen dado de aire.

De hecho, como ya se indicó al comienzo, la atmósfera es lo que caracteriza al clima, por la temperatura y humedad del aire, las precipitaciones y la forma de circular el aire.

Los seres humanos sí podemos cambiar la composición de la atmósfera (ya lo hemos hecho y continuamos haciéndolo cada vez en mayor medida). Un cambio de especial importancia es el aumento rápido y continuado en la concentración de gases invernadero, directamente relacionado con la elevación de la temperatura media global de la superficie terrestre.

La conclusión anterior está avalada por años de estudios científicos. Entre los expertos en cambio climático no hay ya ninguna duda de que desde el comienzo de la era industrial, el efecto neto de la actividad humana sobre el clima ha sido provocar un calentamiento neto, con un impacto superior al de conocidos procesos naturales como erupciones volcánicas o cambios astronómicos.

## 2. LOS GASES INVERNADERO

Los principales gases invernadero son: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O), ozono troposférico (O<sub>3</sub>), y ciertos derivados halogenados como clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

*¿Cuál es el gas que más contribuye al efecto invernadero?*

El vapor de agua es, con gran diferencia, el gas invernadero más importante, tanto por su mayor abundancia en la atmósfera como por poseer una banda de absorción de la radiación infrarroja especialmente ancha. El segundo en importancia es el CO<sub>2</sub>, seguido por el CH<sub>4</sub>. Todos ellos son componentes naturales de la atmósfera pero también pueden ser producidos (junto con otros, como los derivados halogenados ya mencionados) por el ser humano.

### 2.1. El dióxido de carbono

Es el gas que más contribuye al aumento del efecto invernadero. Su forzamiento radiativo<sup>2</sup> es de 1,82 W/m<sup>2</sup>, su duración en la atmósfera es variable (aproximadamente el 50 % del gas emitido tarda unos 30 años en desaparecer, un 30% varios siglos y el resto unos 2000 años), y su potencial de calentamiento global<sup>3</sup> se define como 1. La tasa de aumento reciente es drástica y sin precedentes ya que los incrementos de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde hace al menos 600000 años, nunca sobrepasaron las 30 ppm en mil años mientras que ahora su concentración se ha elevado en 50 ppm en sólo 23 años (desde 1990 a 2013) y en unas 120 ppm en desde mediados del siglo dieciocho hasta el 2013.

El incremento observado en la concentración de CO<sub>2</sub> antrópico en la atmósfera (desde 1750), es solo de alrededor del 44 % del total emitido, ya que el resto ha sido absorbido por los océanos (aproximadamente un 28,5%) y por la vegetación (aproximadamente un

---

<sup>2</sup> Cambio neto en el equilibrio energético del sistema Tierra-atmósfera debido a una perturbación impuesta. Se refiere al valor promedio correspondiente a un periodo de tiempo determinado (habitualmente entre 1750 y nuestros días). Un valor positivo indica un aumento añadido en la energía de dicho sistema.

<sup>3</sup> Efecto de calentamiento a lo largo de un periodo de tiempo (usualmente 100 años) que produce hoy la liberación instantánea de 1 kg de un gas invernadero, en comparación con el causado por el CO<sub>2</sub>.

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

27'5 %). En términos de temperatura, el paso de la concentración preindustrial de CO<sub>2</sub> (280 ppm) a las 400 ppm de 2013, ha supuesto un incremento directo de la temperatura media del orden de 1 °C.

El mar tiene un efecto neto de sumidero del CO<sub>2</sub> atmosférico el cual es muy soluble en agua. La mayor parte de este gas reacciona con el agua formando ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) el cual a su vez se disocia produciendo iones bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Casi todo el carbono procedente del CO<sub>2</sub> del aire se halla en estos iones. La pequeña fracción de CO<sub>2</sub> gaseoso que permanece como tal disuelta en la superficie marina juega un papel fundamental en el intercambio de este gas con el aire (que depende de la temperatura del agua y la concentración de CO<sub>2</sub>).

*¿Mediante qué acciones, directas o indirectas, hacemos aumentar los seres humanos la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera?*

Una primera fuente de CO<sub>2</sub> es la quema de combustibles fósiles (derivados del petróleo, gas natural y carbón), que causa alrededor del 75 % de las emisiones antrópicas de CO<sub>2</sub>. Dichos combustibles siguen suministrando en torno al 80% de la energía utilizada en todo el planeta en sectores como la construcción, industria, climatización de edificios y transporte (y la demanda sigue aumentando).



A título de ejemplo: la producción y uso de energía generó casi 27000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> antrópico en 2004: 40% por electricidad y calefacción, 24 % por transporte, 19% por la industria y 17% por otras actividades. Dicho aporte se vio incrementado a 30 600 millones de toneladas en 2010 (44% del sector del carbón, 36% del petróleo y 20% del gas) y a 34000 millones de toneladas en 2011. La media mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en 2007 fue de 4'6 toneladas (t) por persona, pero las diferencias entre unos países y otros eran (y siguen siendo), enormes: la emisión per cápita en Estados Unidos superó ese año las 19 t, en Japón fue de 9'8 t y en España de 8 t, mientras que en India no llegó a las 1'5 t (lo mismo que en otros muchos países como Nicaragua, Perú, El Salvador, Honduras, Guatemala, etc.).

En 2011 China pasó a ocupar el puesto de primer emisor de gases invernadero a la atmósfera. Durante ese mismo año, las emisiones por habitante fueron 6'8 t en China, 8'1 t en Europa en su conjunto y 16'9 t en Estados Unidos.



La concentración de CO<sub>2</sub> también aumenta debido a la deforestación por talas masivas e incendios. En los bosques y en sus suelos se encuentra una gran parte del carbono orgánico terrestre. Por eso son tan importantes las modificaciones en los ecosistemas forestales y, en especial, en los tropicales.

Las prácticas de deforestación, unidas a la erosión de los suelos, suelen suponer una pérdida de biomasa y la devolución a la atmósfera, en forma de CO<sub>2</sub>, del carbono que previamente ha sido captado en la fotosíntesis. El que haya extensas zonas tropicales en donde tras la tala no se regenera la cubierta vegetal (que si lo hiciese recuperaría el carbono) aumenta la concentración atmosférica del CO<sub>2</sub>.

Los procesos de pérdida de vegetación y de suelos son variados, aunque no fáciles de cuantificar. La causa más importante de la deforestación son los incendios provocados para aumentar las tierras de cultivo agrícola y la ganadería. A modo de ejemplo, cabe destacar los incendios en los bosques de Siberia, que contiene la mitad del carbono de los ecosistemas forestales de la Tierra, donde en el verano del 2003 se quemaron 22 millones de hectáreas, arrojando a la atmósfera más de 700 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.



A finales de la primera década del siglo XXI aproximadamente el 60% del área amazónica es demasiado húmeda para que se puedan propagar incendios, sin embargo, el cambio climático favorece la reducción de dicha área. En los incendios se emiten también otros gases invernadero (como el N<sub>2</sub>O) y aerosoles (como el hollín), que además son contaminantes atmosféricos peligrosos para la salud.

También hay que tener en cuenta la tala para obtener maderas valiosas, que desde la colonización europea han ido soportando los bosques de Centroamérica, Caribe, Amazonia, África y Sudeste Asiático. Tampoco se puede olvidar que en muchos países pobres, la madera sigue siendo el principal combustible de uso doméstico, lo que ha provocado la desaparición de los árboles en extensas zonas del mundo subdesarrollado (en el continente africano, por ejemplo, más del 90 % de la población rural y alrededor del 70 % de la urbana, utilizan la madera como principal fuente de energía).

Finalmente, indicar que también se forma CO<sub>2</sub> en la fabricación de cemento. Cuando la piedra caliza (carbonato de calcio) se calienta para producir cal (óxido de calcio), que es un componente del cemento, se libera CO<sub>2</sub>. En este proceso se emite a la atmósfera alrededor del 4% del CO<sub>2</sub> antrópico.

*Cuando se analiza la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, los datos muestran que su concentración es menor durante el verano y mayor durante el invierno. ¿A qué puede ser debida esta oscilación?*

Durante la primavera y verano la vegetación crece, genera hojas y absorbe más CO<sub>2</sub> del aire (mediante la fotosíntesis) haciendo que su concentración atmosférica baje. En invierno el crecimiento vegetativo se paraliza y las hojas se caen por lo que disminuye la fotosíntesis y se absorbe menos CO<sub>2</sub> por las plantas. La cantidad total de vegetación (biomasa) del hemisferio norte es mayor que la del sur, y por eso su influencia es dominante en el conjunto de la atmósfera.

## 2.2. Metano

El metano es un gas invernadero muy efectivo, con una concentración atmosférica media en 2011 que superaba ya las 1'8 ppm, debido a su incremento desde los tiempos preindustriales, cuando la concentración atmosférica era sólo de 0'7 ppm. Su forzamiento radiativo es del orden de 0'48 W/m<sup>2</sup>, su vida media de unos 12 años y su potencial de calentamiento global es 21 (lo que significa que cada kg de CH<sub>4</sub> emitido tiene un efecto de calentamiento acumulado en la atmósfera durante los siguientes 100 años equivalente a la emisión de 21 kg de CO<sub>2</sub>).

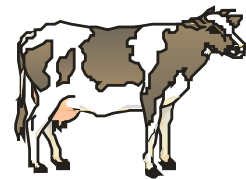
## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

Algunos investigadores piensan que el aumento del metano en la atmósfera se remonta al inicio de la agricultura y, en especial, al del cultivo del arroz hace 5000 años.

Actualmente las principales fuentes de emisión antrópicas de este gas se centran en: producción de energía a partir de carbón y gas natural, eliminación de desperdicios, crianza de animales rumiantes, agricultura del arroz, quema de biomasa y fugas de conducciones de petróleo y gas. Dichas fuentes son las responsables de entre el 50 y el 65% del total de metano emitido a la atmósfera en el presente.

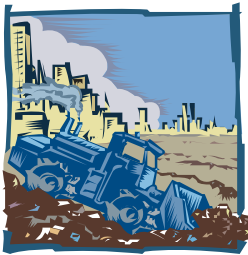
Todos los años unos 400 millones de toneladas de metano son producidas por bacterias que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica. Los medios en los que actúan son muy variados: el estómago y tracto intestinal de los rumiantes, el interior de estercoleros, campos inundados para el cultivo de arroz o el fondo de zonas pantanosas.

Entre el 5 % y el 10 % del alimento que ingiere una vaca se transforma en metano. En Nueva Zelanda, el metano producido por vacas y ovejas supone un 40% de la emisión total de gases invernadero.



El cultivo del arroz sobre enormes extensiones encharcadas en Asia, favorece la metanogénesis en los barros de las tierras inundadas.

Otro factor emisor de metano es la quema de vegetación, especialmente la quema de maleza en las sabanas tropicales que se realiza como práctica agrícola para fertilizar el suelo. A veces el metano procede del propio suelo del área quemada, sobre todo en los incendios boreales, por descongelación del permafrost<sup>4</sup>.



En los vertederos gran parte de la materia orgánica allí almacenada se degrada en condiciones anaeróbicas y se convierte en metano. La mejora de las prácticas de almacenaje de la basura con el buen sellado de las instalaciones y la recuperación del metano creado, que puede ser utilizado como combustible, pueden reducir las emisiones y de hecho así ha ocurrido en algunos países avanzados.

Otra fuente antrópica de metano han sido los escapes en las minas de carbón (el peligroso gas grisú), en las instalaciones defectuosas de extracción de gas natural (el 90% del cual es metano) y en los cientos de miles de kilómetros de gasoductos construidos para su transporte. El auge de la utilización energética del metano hará necesaria la construcción de más pozos de extracción y de más gasoductos, pero es de esperar que las mejoras técnicas hagan disminuir el despilfarro y las fugas a la atmósfera.

---

<sup>4</sup> Capa de suelo o sustrato congelado. Puede contener materiales orgánicos antiguos semidescompuestos, que al descongelarse sufren una serie de reacciones químicas liberando dióxido de carbono y metano.

### 2.3. Otros gases invernadero

En cuanto al  $N_2O$ , sus fuentes antrópicas más comunes son: el uso de fertilizantes de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa y ciertos procesos industriales como la fabricación de nylon y de ácido nítrico. El 17% de este gas presente en la atmósfera lo hemos añadido nosotros desde la era industrial.

Una vez emitido permanece en la atmósfera durante unos 114 años. Su potencial de calentamiento global es de 296. En la década 2000-10 su emisión media anual fue del orden de 7 millones de toneladas. Al final de dicha década su concentración en la atmósfera superaba 0'310 ppm, cuando al inicio de la era industrial era de 0'275 ppm.

Entre los gases halocarbonados<sup>5</sup> que presentan efecto invernadero los CFCs se hallaban presentes en gases utilizados como refrigerantes (frigoríficos y aparatos de aire acondicionado) y propelentes (espráis). La concentración de CFCs no está aumentando actualmente, debido a los acuerdos internacionales para evitar la disminución de la concentración de  $O_3$  estratosférico (ya que estos compuestos, además de su efecto invernadero, destruyen la capa de ozono estratosférico que nos protege de las radiaciones ultravioleta). Sin embargo, las concentraciones de otros gases halocarbonados (HCFC, HFC, PFC) y también de  $SF_6$ , están aumentando en la actualidad. Los HFCs se utilizan como sustitutos de los CFCs. Los PFCs y el  $SF_6$  son liberados a la atmósfera en actividades industriales como la soldadura de aluminio y la fabricación de semiconductores. El potencial de calentamiento global de estos gases varía ampliamente, así, por ejemplo, entre 5700 y 11000 para los CFCs y 23500 para el  $SF_6$ . El periodo de vida atmosférico de estos gases varía también mucho de unos a otros: entre 45 y 100 años para los CFCs, entre 1 y 18 años para los HCFCs, de 1 a 270 años para los HFCs y miles de años para los PFC.

A los gases anteriores podemos añadir el ozono troposférico producido por actividades humanas, como el cambio de uso de los suelos, la quema de combustibles fósiles y otros procesos que conllevan la producción de los llamados compuestos químicos precursores (como  $CO$ ,  $CH_4$ , algunas sustancias orgánicas volátiles y óxidos de nitrógeno) que sufren una serie de reacciones fotoquímicas, en las que se produce  $O_3$ . El  $O_3$  troposférico tiene un periodo de vida atmosférico breve (de unos días a unas semanas) por lo que su distribución es bastante variable, aunque su concentración aumenta en el aire urbano y en las zonas en las que se quema biomasa.

*¿Por qué si el vapor de agua es el gas de efecto invernadero más importante, no contribuye especialmente al aumento del efecto invernadero? (Tened en cuenta que al quemar cualquier combustible fósil, además de  $CO_2$  se produce también agua).*

El vapor de agua es quien más contribuye al efecto invernadero, pero las actividades humanas apenas inciden directamente en un aumento significativo de la concentración de este gas en la atmósfera y por tanto, su contribución al **aumento** del efecto invernadero es escasa. Fundamentalmente, hay que tener en cuenta dos hechos:

---

<sup>5</sup> El término "halocarbonado" hace referencia a la existencia en las moléculas del compuesto, de carbono y de un elemento (normalmente el flúor) de la séptima columna de la tabla periódica, conocida también como grupo de los halógenos.



## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

a) La concentración del vapor de agua atmosférico varía entre 0'01% y 5 % (a mayor temperatura aumenta la concentración), presentándose efectos de saturación que hacen que dicho vapor condense y caiga de nuevo en forma de lluvia (lo que no ocurre con los otros gases invernadero).



b) Las nubes tienen un efecto doble. Absorben radiación infrarroja (calentamiento) pero también reflejan al espacio parte de la radiación solar (albedo de las nubes) produciendo un enfriamiento. A nivel global el efecto neto de las nubes, parece ser de enfriamiento.

### 3. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN EL EFECTO INVERNADERO

Además de los gases anteriores y de los cambios astronómicos ya mencionados, existen otros factores que también inciden de forma notable en el efecto invernadero.

*¿Qué otros factores inciden en el efecto invernadero? ¿Cómo actúan?*

Ya hemos comentado antes el importante papel que tienen los bosques en el efecto invernadero. Aproximadamente la cuarta parte del CO<sub>2</sub> que emitimos a la atmósfera es absorbido por las plantas verdes al realizar la fotosíntesis.

**Los aerosoles** son un componente más de la atmósfera, que interviene en procesos tan importantes como la formación de nubes, el transporte de contaminantes y la absorción o dispersión de la radiación. Se trata de materiales en suspensión de los que existen fuentes naturales (como las erupciones volcánicas o la suspensión de sal marina y polvo debido al viento), pero también otras debidas a la actividad humana (uso masivo de combustibles fósiles liberando hollín y diversas sustancias, explotación de minas y canteras, movimientos de suelo con fines urbanísticos, incendios, etc.). Su impacto es doble, en función principalmente del contenido en hollín (si es elevado, predomina la absorción de radiación, favoreciendo el calentamiento de la atmósfera y viceversa). Cabe notar que en conjunto, a fecha de 2011, el efecto predominante era el de refrigeración.

**Las nubes**, como ya se ha dicho, tienen un efecto doble, dependiendo del tipo de nube, la altura a la que se encuentre y si es de día o de noche. Mucha gente sabe, por ejemplo, que en las noches de invierno en las que el cielo está despejado, las temperaturas suelen ser más bajas que si está nublado. Durante el día las nubes altas (como los cirroestratos) dejan pasar la radiación solar pero absorben la terrestre, mientras que las medias (como los altocúmulos) impiden notablemente el paso de la radiación solar.

La **superficie oscura del océano abierto** y la **superficie terrestre cubierta de espesa vegetación** reflejan sólo un 10% de la radiación solar que les llega, mientras que este efecto albedo aumenta en superficies claras como son las zonas áridas, desiertos y las superficies cubiertas de hielo o nieve (en estas últimas puede acercarse al 90%). A principios del siglo XXI el albedo medio del planeta era del orden del 30%. Su reducción



supondría un aumento del calentamiento, de ahí el papel tan importante que tienen los hielos del polo norte y del continente antártico en la refrigeración del planeta.

#### 4. ¿QUÉ VA A OCURRIR SI NO TOMAMOS LAS MEDIDAS ADECUADAS?

Si el aumento del efecto invernadero sigue produciéndose, la temperatura media en la Tierra va a seguir incrementándose. Como promedio mundial, la temperatura en la superficie de la Tierra aumentó en 0'89 °C entre 1901 y 2012, y mientras que en Europa subió 1°C en España lo hizo entre 1'2 °C y 1'5 °C. A largo plazo, los modelos utilizados por el IPCC<sup>6</sup> predicen para el 2100 una subida media de la temperatura situada entre 1'5 °C y 4'5 °C .

*¿Qué importancia puede tener el hecho de que la temperatura media de la Tierra suba unos pocos grados?*

Conviene tener en cuenta que estamos hablando de valores medios de la temperatura del aire próximo al suelo, obtenidos en miles de lugares diferentes repartidos por todo el planeta y durante muchos años, (lo que incluye variaciones estacionales y fenómenos meteorológicos extremos). Por tanto, lo que realmente importa no es si el verano pasado aquí hizo más o menos calor, sino la tendencia general a escala global. El invierno de 2010, por ejemplo, pareció muy frío; sin embargo, solo lo fue en Europa Occidental y en la costa este de Norteamérica. En realidad, fue el invierno más cálido en todo el mundo desde que se tienen registros (1850) hasta ese año. La década 2000-2010 ha sido la más cálida desde 1850 y ha sido más cálida que la de los 90 y ésta que la de los 80 ... (tendencia general).

Los expertos consideran que un aumento de la temperatura media de la Tierra de más de 2 °C (con respecto a su valor en el periodo pre-industrial), no debería sobrepasarse porque eso provocaría muy probablemente perturbaciones climáticas catastróficas e irreversibles, no solo para los ecosistemas sino también en la economía y la salud de las sociedades humanas. Sin embargo, no es necesario esperar a superar ese límite para poder darse cuenta de una serie de consecuencias del calentamiento global que ya han comenzado a producirse.



*Enumerad algunas consecuencias del proceso de calentamiento global*

Entre las más importantes están: Fusión de hielo continental y marino, acidificación de los océanos, aumento de la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, cambios en los ritmos vitales de muchas especies y disminución de la biodiversidad, aumento de la probabilidad de que ocurran cambios grandes y abruptos.

---

<sup>6</sup> Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Se trata de un organismo científico internacional, creado en 1988 por las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial, para estudiar el cambio climático, evaluar sus consecuencias y elaborar estrategias de respuesta realistas.

#### 4.1. Fusión de hielo continental y marino

Más de un 85 % del área terrestre ocupada por hielos permanentes se encuentra en la Antártida (un continente con una superficie unas 28 veces mayor que la de España). Un 10 % corresponde al hielo de Groenlandia y en el 5% restante se incluye el conjunto de todos los demás glaciares.

El espesor medio del hielo en la Antártida es de 2'4 km y en algunos lugares casi alcanza los 5 km. Su volumen es tan grande que su descongelación completa elevaría el nivel del mar unos 60 metros. La mayor parte de toda esta masa de hielo (casi el 90 %) se encuentra en la Antártida Oriental.



Por otra parte, la **banquisa**<sup>7</sup> de hielo marino que rodea el continente antártico (no representada en la figura), experimenta una gran variabilidad estacional (desde los 2-3 millones de km<sup>2</sup> en verano a los 15-16 millones de km<sup>2</sup> en invierno, aproximadamente).

Groenlandia es la mayor isla del mundo (unas cuatro veces mayor que España) y tiene el 80% de su superficie cubierta de hielo. Los datos que se disponen indican, sin embargo, que parte de esa masa de hielo se funde. La pérdida de hielo en Groenlandia se duplicó entre 1996 y 2005. La isla perdió 50 km<sup>3</sup> de hielo solo durante 2005. La fusión de todo el hielo de Groenlandia haría subir en más de 6 m el nivel del mar.

La fusión de parte del hielo terrestre que hay sobre el continente antártico y en glaciares de algunas zonas del hemisferio norte como Alaska, Islandia y Groenlandia, está contribuyendo sin duda al aumento del nivel del mar. Por otra parte, las medidas que se vienen realizando desde 1961 muestran que la temperatura media de los océanos ha aumentado hasta profundidades de unos 3000 m y que éstos absorben más del 80 % de la energía añadida al sistema climático a consecuencia del calentamiento global, con lo que el agua tibia se dilata y ello se traduce también en un ensanchamiento de los océanos y, consecuentemente, en una elevación del nivel del mar. Actualmente, ambos efectos (fusión del hielo y expansión del agua) contribuyen aproximadamente por igual a dicha elevación.

La velocidad a la que ha ido subiendo el nivel del mar a aumentado durante los dos últimos siglos. Concretamente, durante el periodo 1900-2012 se ha constatado una elevación media del nivel del mar de unos 19 cm y las previsiones más fiables indican que debido a la expansión térmica el nivel seguirá subiendo durante muchos siglos, dependiendo de las futuras emisiones de gases invernadero. Los modelos manejados por los científicos del IPCC indican para el año 2300 un aumento entre 1m y 3 m si la concentración de gases invernadero en la atmósfera rebasa las 700 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Capa de hielo marino flotante que se forma en las regiones polares.

<sup>8</sup> Concentración de este gas que causaría el mismo forzamiento radiativo medio mundial que la mezcla real de todos los gases invernadero y aerosoles existente en la atmósfera.

El calentamiento global también está contribuyendo a la fusión del hielo en muchos glaciares continentales de montaña y a una disminución de las nevadas en general, lo que explica el retroceso experimentado por dichos glaciares. En efecto, al ritmo actual, es bastante probable que todos los glaciares del Pirineo español hayan desaparecido antes de 2050. La misma tendencia se observa en África, en el Himalaya, en Alaska y en otros lugares. Se trata de un fenómeno a escala planetaria.



En el Ártico, la temperatura del aire ha aumentado al menos en 3°C entre 1990 y 2010, lo que es bastante como para fundir una gran parte del hielo flotante (entre 3 m y 4 m de espesor medio a final del invierno). Además del incremento en la concentración de gases invernadero en la atmósfera, otras razones de esta elevación de la temperatura pueden ser el transporte a esa zona de aerosoles contaminantes procedentes de otras regiones muy pobladas de latitudes medias como China, Estados Unidos y Europa.

La extensión del hielo marino ártico durante el verano (lo que se llama hielo multianual o perenne) ha venido disminuyendo sistemáticamente entre 700.000 km<sup>2</sup> y 1000.000 km<sup>2</sup> cada década desde 1979 a 2012. También ha disminuido (menor superficie y menor grosor) el volumen de hielo ártico en verano (las mediciones realizadas por satélite indican una pérdida de unas tres cuartas partes de dicho volumen respecto a 1980).

*¿Por qué la fusión del hielo flotante (como el del Ártico o la banquisa de la Antártida) no produce ningún efecto directo sobre la elevación del nivel del mar?*

La fusión del hielo ártico no hace aumentar el nivel del mar igual que un trozo de hielo en un vaso lleno de agua tampoco hace aumentar, cuando se funde, el nivel del agua. Esto ocurre porque el hielo ocupa más volumen que el agua líquida correspondiente, de tal forma que, cuando ese hielo funde, el agua líquida resultante tiene un volumen justo igual al de la parte sumergida del hielo que la originó, por lo que no se produce ningún aumento ni disminución de nivel.

*¿Qué consecuencias sobre la vida en el planeta pueden tener los efectos anteriormente mencionados?*

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

El mar tiene unas 800 veces más capacidad de retener energía térmica que todos los continentes juntos (más del 90% del exceso de energía almacenada por la Tierra durante los últimos 50 años, se encuentra en los océanos). Es un termómetro mucho más fiable que la temperatura del aire (sujeta a mucha mayor variabilidad). Su aumento de nivel, lento pero constante e imparable, es un indicador similar a la dilatación del mercurio de un termómetro y nos está diciendo claramente que la temperatura del planeta sube. Es necesario tener en cuenta que en los océanos existe una gran inercia, que hace que ante un determinado forzamiento (positivo o negativo) puedan transcurrir decenas o centenares de años hasta alcanzarse un nuevo equilibrio. En la atmósfera, la inercia térmica es menor. Por eso hay que ser conscientes de que, aún en el supuesto de que dejase de aumentar ahora la temperatura, el mar seguiría expandiéndose durante bastantes años.

La subida del nivel del mar producirá la destrucción de ecosistemas esenciales como humedales, manglares y amplias zonas costeras habitadas, así como la salinización de acuíferos. Más de 250 millones de personas en el mundo viven a menos de 1 m de altura sobre el nivel del mar. Muchas tierras cultivables y también muchas grandes ciudades se hallan en zonas litorales. Una elevación de 1 m en el nivel del mar inundaría 16 000 km<sup>2</sup> en Bangla Desh, 20 000 km<sup>2</sup> en Vietnam y 30 000 km<sup>2</sup> en Indonesia, generando millones de refugiados climáticos en busca de otros lugares en los que poder vivir.

La disminución y desaparición de glaciares de montaña hará que también disminuya la cantidad de agua subterránea y del agua contenida en muchos lagos, así como el caudal de los ríos conectados con esos glaciares. Pensemos en los efectos negativos que tendrá la disminución de este recurso básico en sectores como la agricultura o la ganadería y en particular en todas las personas de las zonas afectadas.

*¿Cómo sería un mundo en el que no hubiese hielo en el Ártico?*

Posiblemente ya hay compañías mineras, petroleras y navieras que sueñan con ese día. Pero sería una zona sin osos polares y sin focas. Sin ese escudo protector que refleja gran parte de la radiación solar que le llega, el planeta se calentaría más, las corrientes de agua y de aire provocadas por la diferencia de temperaturas entre el Ártico y los trópicos se debilitarían, la desaparición de permafrost en los continentes cercanos al polo norte liberaría grandes cantidades de dióxido de carbono y metano, acelerando más el calentamiento global ...



En definitiva: el Ártico es una zona especialmente sensible al cambio climático pero todo el planeta es especialmente sensible a los cambios en el Ártico.

### 4.2. Aumento de la acidificación de los océanos

El mar actúa como un inmenso sumidero de CO<sub>2</sub> (efecto neto actual) ya que este gas se disuelve bien en el agua (y mejor en agua fría). La concentración de este gas en el agua superficial es un factor determinante (junto con otros como la temperatura) en el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y el mar. La incorporación de CO<sub>2</sub> antrópico desde el inicio de la era industrial ha acidificado el agua marina, cuyo pH ha disminuido en 0'1 unidades en promedio (a menor valor de pH mayor grado de acidez). Una mayor concentración de

CO<sub>2</sub> en la atmósfera aceleraría ese proceso. Las previsiones muestran una reducción del valor promedio del pH en la superficie marina de entre 0'14 y 0'35 unidades durante el siglo XXI. Desde hace al menos 500000 años que el agua marina no presenta un grado de acidez tan alto como el actual.

*¿A qué tipo de organismos marinos cabe esperar que afecte, en principio, el aumento de acidez del agua?*

Muchas personas han visto cómo al dejar un limón partido sobre un banco de mármol, se produce una mancha sobre la zona mojada por el jugo del limón. Esto ocurre porque los ácidos atacan al carbonato de calcio y resulta que el zumo de limones o naranjas es un poco ácido y el mármol está formado principalmente por carbonato de calcio. Algo similar puede ocurrir si se acidifican los océanos. Aunque los efectos de dicha acidificación sobre la biosfera marina no están todavía bien documentados, parece claro que tendrá efectos negativos sobre todos los organismos que poseen carbonato de calcio en su estructura como los corales y los animales con concha o caparazones (moluscos, cangrejos, etc.) y también sobre todas las especies que dependen de ellos (cuando, por ejemplo, un arrecife de coral desaparece lo hacen también muchos peces y otros seres que viven en él y además deja de haber una barrera protectora de la zona costera). Todo ello puede tener efectos catastróficos sobre la vida marina.

#### **4.3. Alteración de las precipitaciones y aumento de fenómenos meteorológicos extremos**

El aire cálido puede contener más vapor de agua que el frío. El contenido de vapor de agua del aire ha estado subiendo en los últimos años, tanto sobre la tierra como sobre los océanos y también en la troposfera superior. Todo ello aumenta el riesgo de episodios de lluvias torrenciales e inundaciones.

Las lluvias torrenciales y las inundaciones, junto con las graves sequías, huracanes, y olas de calor, son ejemplos de fenómenos meteorológicos extremos y, aunque resulta imposible decidir si uno de dichos fenómenos en particular está causado o no por el aumento del efecto invernadero, lo cierto es que los análisis realizados durante el pasado siglo indican claramente que ha aumentado la probabilidad de que ocurran tales sucesos extremos.



En efecto, desde 1950 las olas de calor han aumentado, así como las noches cálidas. Si nos situamos en el año 2010, los diez años más cálidos registrados se produjeron en los 15 años anteriores a esa fecha, de los cuales la primera posición fue para 1998, seguido de 2010 y 2003. El año 2013 fue el séptimo más cálido desde que se tienen registros. En



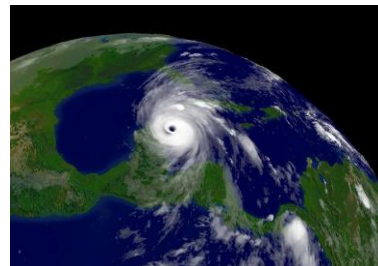
## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

el hemisferio norte los años entre 1983 y 2012 han supuesto el periodo de 30 años más cálido durante los últimos 800 años. La evaporación ha aumentado debido a esas condiciones ambientales más cálidas. Así mismo, las precipitaciones (lluvia o nieve) en general han disminuido, a pesar de que esporádicamente se producen episodios de precipitaciones muy intensas que provocan graves inundaciones en determinadas zonas<sup>9</sup>. Todo ello ha hecho que aumenten las regiones del planeta afectadas por sequías de larga duración.

En general, debido al aumento del efecto invernadero, un clima más cálido incrementa los riesgos de sequía donde no llueve y de inundaciones donde sí lo hace. De igual modo la probabilidad de precipitaciones en forma de lluvia en vez de nieve aumenta (sobre todo en latitudes medias y altas del hemisferio norte), lo que reduce la cantidad de recursos hídricos en verano, que es cuando más se necesitan.

*¿A qué puede deberse que los huracanes sean cada vez más catastróficos?*

Algunos fenómenos como los huracanes, extraen su energía del agua del mar y se frenan cuando chocan contra barreras costeras (arrecifes de coral, manglares, bosques) y montañas. El aumento en la temperatura del agua del mar y la degradación de zonas costeras (con la desaparición de arrecifes de coral y de vegetación) son factores que potencian estos fenómenos extremos y sus efectos.



Los fenómenos meteorológicos extremos, no solo suponen enormes pérdidas económicas, sino que también causan la muerte de miles de seres humanos. Así, por ejemplo, las muertes de personas (sobre todo ancianos) durante el verano por las altas temperaturas han aumentado sensiblemente durante los últimos años, especialmente en algunos países de Europa donde los veranos solían ser más suaves.

### **4.4. Alteración de los ritmos vitales y pérdida de biodiversidad**

*El aumento del efecto invernadero ha contribuido a que en algunas zonas del planeta, como España, los inviernos sean cada vez más suaves y los veranos más calurosos y largos. ¿Qué impacto puede tener esto en la flora y la fauna?*

Algunos ejemplos de dicho impacto son: Las hojas de las higueras brotan antes y se caen después, y otro tanto ocurre con muchas flores y frutos. En general, los árboles caducifolios tardan más tiempo del acostumbrado en perder las hojas.

El adelanto en la floración conlleva una presencia más prolongada de polen en la atmósfera, lo que repercute en las alergias. Además, si no hay coordinación temporal entre la floración y los insectos que polinizan las plantas, podemos encontrarnos con que la producción de miel y de frutas se vea gravemente afectada. Esta descoordinación temporal puede

---

<sup>9</sup> En el periodo 1982-2007 se registraron en el mediterráneo occidental un aumento de 0'5 °C en la temperatura media y del 20% en el número de episodios de lluvias torrenciales (ambos factores, sin duda, relacionados).

afectar también a otras especies. Así, si las orugas se adelantan de junio a mayo, es posible (y así ocurre ya en algunos casos) que los pájaros cuyos polluelos nacen a primeros de junio, se pierdan gran cantidad de ellas y mueran, con la consiguiente proliferación de insectos al disminuir la población de aves que se alimentan de ellos.

Algunas especies de plantas como enebros, hayas y robles, se pueden encontrar cada vez a mayor altitud, desplazando a otras especies alpinas como el abeto. Por otra parte, especies de animales que antes emigraban (como las cigüeñas) ahora no lo hacen y pasan aquí el invierno, debido no sólo a que encuentran abundante comida en los grandes vertederos de basura sino también a que los inviernos son cada vez más suaves. Otras aves características de climas más cálidos (como algunas cotorras) se han instalado definitivamente en ciertas zonas de España. Esta situación no solo se da en plantas y aves sino que afecta también a otros seres vivos como, por ejemplo, algunos mosquitos, característicos (hasta ahora) de zonas tropicales, transmisores de graves enfermedades como la malaria o el dengue, los cuales se detectan cada vez en latitudes más altas.

El aumento en la temperatura de los océanos también propicia este tipo de cambios (mucho más rápidos que en el medio terrestre debido a ser un medio abierto y a la gran movilidad de las especies marinas). Solo en el Mediterráneo se ha contabilizado una entrada de varios centenares de especies exóticas (en su mayor parte de origen tropical). El aumento en la temperatura del agua del mar favorece también otros fenómenos tales como la proliferación de algas o las invasiones de medusas (lo que puede afectar al turismo de muchas zonas costeras). El calentamiento y la reducción del hielo marino afecta también a la reproducción del krill antártico (el animal más abundante del planeta y un eslabón fundamental de la cadena trófica).

*¿Cómo puede contribuir el calentamiento global a la pérdida de biodiversidad?*

Los desajustes que hemos mencionado son ejemplos de cambios que trastornan las cadenas reproductivas y alimentarias de muchas plantas y animales. Apenas han comenzado y sus efectos pueden ser catastróficos. Uno de dichos efectos es su contribución a la pérdida de biodiversidad.

En la actualidad se conocen aproximadamente 1'5 millones de especies de seres vivos, de las que más de la mitad son insectos, menos de 50 000 animales vertebrados y unas 14 000 entre aves y mamíferos. Sin embargo, nadie sabe cuántas especies más quedan todavía por descubrir.

Debido al cambio climático, está subiendo la temperatura media de la superficie terrestre y marina, cambian los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones, se está elevando el nivel del mar y aumentando su grado de acidez, etc. Dichos cambios, sobre todo la subida de las temperaturas en algunas zonas, están afectando a:

- ✓ La estación de la reproducción de animales y plantas.
- ✓ La migración de animales.
- ✓ La distribución de las especies y el tamaño de sus poblaciones. (A este respecto, conviene tener en cuenta que algunas especies foráneas se comportan de forma agresiva desplazando a otras especies autóctonas).
- ✓ La frecuencia de plagas.
- ✓ La salud de muchas especies.

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

Actualmente diversas especies de todo el mundo están amenazadas de extinción (osos polares, corales, algunos peces...) y de hecho, algunos factores relacionados con el aumento del efecto invernadero también contribuyen a dicha extinción (por ejemplo, la destrucción de la selva amazónica y bosques en Indonesia, los grandes incendios forestales, el aumento de la temperatura y del grado de acidez del agua marina, la fusión del hielo ártico, etc.).

El calentamiento global cambiará el aspecto y la localización de muchos bosques del mundo. Los bosques de las zonas templadas tenderán a moverse a zonas de mayor altitud. Sin embargo, algunas especies arbóreas, como las hayas, podrían no ser capaces de emigrar a velocidad suficiente y se extinguirían, con lo que variedades completas de bosques podrían desaparecer y provocar una hecatombe forestal que aceleraría la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global.

Aunque no se conoce exactamente el número de especies que debido al cambio climático y a otras causas (relacionadas o no con el mismo) están desapareciendo cada año (lo cual es lógico, puesto que tampoco se sabe cuántas especies hay), sí sabemos que la tasa de extinción es entre 100 y 1000 veces superior a la esperada por causas naturales. Estamos perdiendo biodiversidad a tal velocidad que algunos autores hablan ya de una extinción masiva y, esta vez... el meteorito somos nosotros mismos.

### **4.5. Aumento de la probabilidad de cambios climáticos grandes y abruptos**

De acuerdo con el informe elaborado en 2007 por el IPCC, para el siglo XXI no se considera probable que ocurran de forma abrupta grandes cambios climáticos (tales como el derrumbe de la capa de hielo de la Antártida occidental, la pérdida de la capa de hielo de Groenlandia o cambios a gran escala en la circulación oceánica), de consecuencias planetarias (teniendo en cuenta los datos disponibles en esa fecha). No obstante, también se afirmaba que:

“... la ocurrencia de tales cambios se torna cada vez más probable a medida que avanzan las perturbaciones del sistema climático”.

Dichos cambios ya han sucedido en el pasado. Una preocupación constante es que el aumento de la temperatura media terrestre pueda conducir a unas perturbaciones lo bastante fuertes como para desencadenarlos. A este respecto conviene tener en cuenta el importante papel que desempeñan los denominados "**ciclos de auto-reforzamiento**" en la aceleración del aumento del efecto invernadero.

*Proposed posibles ciclos de auto-reforzamiento que partan y terminen en el aumento de la temperatura media global del planeta.*

En efecto, si continúa aumentando la temperatura media global del planeta:

- ✓ Aumentará la cantidad de agua evaporada así como la proporción de vapor de agua que puede contener la atmósfera (se estima que por cada aumento de 1 °C la capacidad de retención de vapor de agua por la atmósfera aumenta en un 7%), lo cual hará aumentar el efecto invernadero (recordemos que el vapor de agua es el gas que más contribuye al efecto invernadero) y, consecuentemente, la temperatura.

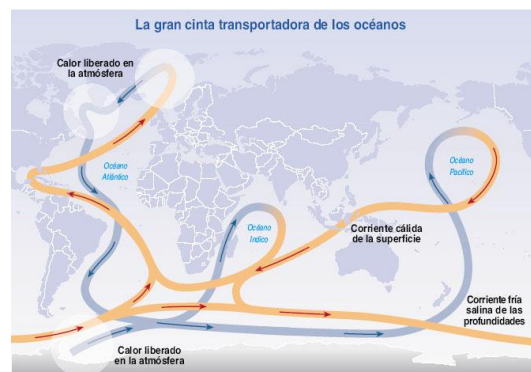


- ✓ Aumentarán los grandes incendios (se reseca el suelo y las hojas, se producen más rayos), con los que se emitirá a la atmósfera gases invernadero a la vez que habrá menos plantas para absorber CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis, lo que hará aumentar el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ Aumentará la cantidad de hielo marino fundido, con lo que disminuirá el efecto aislante de la capa de hielo, favoreciendo la emisión de calor al aire desde el mar, aumentando la temperatura del aire.
- ✓ Aumentará la temperatura de los océanos y la posibilidad de que se libere metano desde lodos del fondo marino → aumento del efecto invernadero → aumento de la temperatura.
- ✓ Aumentará la descongelación de suelos congelados de la tundra siberiana, Canadá y Groenlandia, ricos en materia orgánica que al descongelarse se descompone liberando metano → aumento del efecto invernadero → aumento de la temperatura.
- ✓ Aumentará la fusión de grandes masas de hielo (continentales y marinas) con lo que se reflejará menos radiación solar al espacio, calentándose más las zonas próximas (más oscuras) de agua o de suelo, lo que acelerará el proceso haciendo que se funda más hielo y aumente más la temperatura.
- ✓ Habrá bosques enteros (como los hayedos) que no podrán adaptarse al aumento rápido de temperatura desplazándose a latitudes más altas (no tendrán tiempo) y desaparecerán, con lo que aumenta el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ Aumentará la pérdida de humedad del suelo en muchas zonas y la sequedad de las hojas con la consiguiente disminución de productividad en la agricultura y un aumento de la aridez → menos vegetación → aumento del efecto invernadero.
- ✓ Se disolverá menos CO<sub>2</sub> en el agua marina (el CO<sub>2</sub> se disuelve mejor en agua fría que en agua caliente) y el mar podría pasar de ser un sumidero neto de CO<sub>2</sub> a emisor neto de dicho gas, aumentando el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ ...

Los ciclos de auto-reforzamiento anteriores (u otros similares) pueden hacer que el sistema climático evolucione de manera imprevisible y favorecer que se produzcan grandes cambios de forma rápida. A continuación analizaremos algunos de ellos.

*¿Qué tendría que ocurrir para que se frenase o se parase la corriente del Golfo?*

Un ejemplo de gran cambio climático abrupto es el posible **colapso de la Corriente del Golfo** que proporciona cantidades notables de energía mediante calor a los mares y tierras cercanas de Noruega, Groenlandia e Islandia. Esta corriente hace que ciudades como París o Madrid, tengan temperaturas más elevadas que, por ejemplo, Montreal o Nueva York respectivamente, aunque se hallen en latitudes parecidas.



## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

En el Atlántico N, al chocar las aguas cálidas con los vientos fríos que provienen del Ártico, se origina vapor que es llevado hacia el E por los vientos dominantes y la rotación de la Tierra. Después de la evaporación, el agua es más fría y más salada. Ambos factores hacen que su densidad sea mayor y se hunda en grandes cantidades y a gran velocidad hacia el fondo del océano, alimentando así la corriente transportadora de agua fría hacia el sur.

Si la densidad de las aguas superficiales del Atlántico Norte disminuyese debido al calentamiento, el agua dejaría de hundirse, con lo que esa cinta transportadora de energía podría pararse y con ello, la entrega de calor a amplias zonas del norte de Europa. Conviene conocer que la densidad del agua disminuye si lo hace la concentración de sales disueltas en ella, lo cual ocurre cuando aumenta la cantidad de agua dulce presente, bien sea proveniente de la fusión del hielo o de la intensificación del ciclo hidrológico. También disminuye (a partir de 4°C) con el aumento de temperatura.

Si la corriente del Golfo disminuye sensiblemente o se colapsa, no cabe duda de que los efectos se notarían a escala planetaria y aunque no se sepan con certeza (al enfriamiento causado por la desaparición de la corriente se opondría el forzamiento radiativo causado por el aumento del efecto invernadero), lo que está claro es que ello afectaría al fondo oceánico profundo y a la distribución de oxígeno y nutrientes marinos en los océanos.

Otro posible cambio climático abrupto es la rápida desintegración del manto de hielo de Groenlandia o el derrumbe repentino de los mantos de hielo de la Antártida occidental. Los datos indican que hay un umbral de temperatura crítica más allá del cual el manto de hielo que cubre Groenlandia estaría condenado a desaparecer completamente. Ese umbral está situado entre 2 °C y 4 °C por encima del valor medio de la temperatura correspondiente al periodo pre-industrial y, desgraciadamente, podría cruzarse en el transcurso del siglo XXI. Aunque la fusión de ese manto de hielo sería un proceso que tardaría un milenio o más en completarse, lo cierto es que también puede verse acelerado por los ciclos de auto-reforzamiento. Conviene saber que la fusión de la mitad de la capa de hielo de Groenlandia y la mitad de la de la Antártida occidental, ocasionarían tales inundaciones que habría que volver a dibujar los mapas del mundo.

Hemos visto que el cambio es algo consustancial en nuestro planeta, que a lo largo de miles de millones de años ha experimentado cambios mucho más intensos que los que se avecinan. No obstante hay algunas características del cambio climático actual que hacen que sea único.

*¿Qué características específicas tiene el cambio climático actual que lo hacen diferente de otros cambios climáticos ya ocurridos a lo largo de la historia de la Tierra?*

Se pueden concretar en las siguientes:

- ✓ Ser causado por la humanidad, que en este caso actúa como una nueva y poderosa fuerza, capaz de afectar a procesos fundamentales de la biosfera.
- ✓ La rapidez con que está teniendo lugar. En poco más de dos siglos y medio, la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico ha aumentado en más de 100 ppm hasta alcanzar en 2013 las 400 ppm, cuando se sabe que durante los periodos glaciales e interglaciales desde hace medio millón de años, un aumento así tardaba en producirse, como mínimo, varios miles de años (además no eran aumentos acumulados: la concentración se mantuvo entre 180 ppm y 280 ppm, con subidas a las que seguían baja-

das, mientras que ahora solo hay subida). Dicha rapidez, incidirá negativamente en las posibilidades de adaptación de muchas especies.

- ✓ Forma parte de un cambio global más amplio caracterizado por toda una serie de graves problemas de distinto tipo que afectan a la humanidad y al resto de los seres vivos y que están estrechamente relacionados, interaccionando entre ellos de forma que cada uno puede ser a la vez causa y consecuencia de otros.
- ✓ Sabemos cuáles son sus causas y cómo hacerles frente antes de que sea irreversible.

Hasta aquí hemos estudiado qué es el efecto invernadero y en qué consiste su aumento. Los gases invernadero y sus fuentes, así como algunas de las consecuencias más importantes del proceso de calentamiento global del planeta al que estamos asistiendo, las cuales forman parte ya de un verdadero cambio climático terrestre de carácter global. Cabe plantearse ahora qué podemos (y debemos) hacer para frenar dicho cambio climático antes de que sea irreversible.

## 5. ¿QUÉ PODEMOS Y DEBEMOS HACER?

En primer lugar hemos de analizar las causas profundas del problema. Si lo hacemos, nos daremos cuenta de que el cambio climático no es algo aislado sino que se halla fuertemente ligado con otros graves problemas. Cabe pensar, pues, que la mejor estrategia (y seguramente la única efectiva) para enfrentarnos al cambio climático sea una estrategia global en la que se aborde conjunta y simultáneamente el tratamiento de todos ellos.

### 5.1. ¿Con qué otros graves problemas está relacionado el cambio climático?

En el año 1990 se emitieron a la atmósfera por la utilización de combustibles fósiles unas 21 gigatoneladas<sup>10</sup> (Gt) de CO<sub>2</sub> mientras que en 2010 esa cantidad aumentó a casi 31 Gt y en 2013 a 36 Gt. De seguir esa tendencia, en 2050 no solamente no se habrán reducido las emisiones a la mitad que en 1990 (tal y como aconsejan los expertos en cambio climático) sino que se habrán duplicado con creces.

*¿Por qué emitimos cada vez más CO<sub>2</sub>?*

Cada vez emitimos más CO<sub>2</sub> porque el modo de crecimiento económico vigente necesita para mantenerse un consumo, cada vez mayor, de recursos naturales y para procesarlos se precisa cada vez de más energía, la cual se obtiene de forma mayoritaria quemando combustibles fósiles y, en consecuencia<sup>11</sup>, emitiendo CO<sub>2</sub>. El problema se agrava si tenemos en cuenta que la población mundial supera los 7000 millones y que mientras que la mitad de toda esa población malvive pobremente, una quinta parte consume mucho más de lo que se necesita para vivir dignamente.

Así pues, hemos de relacionar el cambio climático con otros problemas tales como el hiperconsumo, la superpoblación y las grandes desigualdades sociales. A continuación analizaremos brevemente cada uno de ellos.

<sup>10</sup> 1 Gt = 10<sup>9</sup> toneladas (mil millones de toneladas)

<sup>11</sup> La quema de cualquier combustible fósil (carbón, petróleo y sus derivados, gas natural) y de madera, siempre produce (entre otras sustancias) CO<sub>2</sub>.

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

El modo de crecimiento económico actual es un crecimiento insostenible, guiado por intereses particulares a corto plazo que actúa como si el planeta tuviera recursos ilimitados. Un crecimiento especialmente acelerado desde la segunda mitad del siglo XX y que se traduce en el **hiperconsumo**.

Se trata de un crecimiento explosivo, que algunos defienden como algo deseable por haber hecho posible indudables avances sociales (para una parte de la humanidad), pero que también tiene repercusiones muy negativas para el medio ambiente y consiguientemente para el futuro de *todos*.

Para que este modo de crecimiento económico pueda continuar, es necesario un consumo cada vez mayor e ininterrumpido de todos los bienes que se producen continuamente. Un hiperconsumo sobre el que tenemos mucha mayor responsabilidad las sociedades “desarrolladas”, y que sigue creciendo como si las capacidades del planeta fuesen infinitas.



*Enumerad aspectos importantes que caractericen el hiperconsumo*

Entre otros, se pueden citar los siguientes:

- ✓ Estar estimulado por una publicidad agresiva, creadora de “necesidades”.
- ✓ Impulsar el usar y tirar, ignorando reducir, reutilizar, reciclar...
- ✓ Modas efímeras.
- ✓ Reducir la durabilidad de productos (obsolescencia programada).
- ✓ Promocionar ciertos productos, a pesar de su elevado gasto energético y su alto impacto ecológico, como los "todoterrenos" circulando por ciudades.
- ✓ No reparar componentes de máquinas y aparatos. Cuando alguna pieza se estropea, se cambia el bloque completo al que pertenece o se compra otro aparato.
- ✓ ...

Algunos indicadores de hiperconsumo son: uso de vehículos a motor para desplazarse escasos metros, acumulación en los hogares de numerosos objetos y productos innecesarios, renovación sistemática de aparatos y máquinas todavía útiles o de ropa y calzado en buen estado, etc.

No se trata, claro está, de condenar todo consumo, sin matizaciones. Es preciso disminuir, sobre todo, el consumo innecesario y evitar el consumo de productos que tienen un gran impacto negativo sobre el medio natural; pero sin olvidar que el consumo contribuye al desarrollo humano cuando mejora la calidad de vida de unas personas sin menoscabo de la vida de las demás. Así, mientras que la mayoría de habitantes de Estados Unidos, Europa o Canadá, deberían consumir menos y eliminar un derroche que no contribuye en nada a la calidad de vida, para más de 1400 millones de las personas más pobres del mundo, aumentar su consumo es cuestión de vida o muerte y un derecho básico.



## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

consumo, así como acceso a una buena alimentación, educación, sanidad, capacidad para viajar, etc. Todo ello, cuando se multiplica por los millones de personas que lo demandan, supone utilizar cantidades enormes de recursos naturales y generar también gran número de residuos de todo tipo, incrementando problemas como el agotamiento de combustibles fósiles, la deforestación, la disminución de las pesquerías, el aumento del efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad, la disminución de agua potable, la contaminación, etc. Pensemos en los últimos datos que tenemos sobre países como China o India. China, por ejemplo, emite ya, globalmente, más CO<sub>2</sub> que los Estados Unidos y si estos dos grandes países alcanzasen un nivel de vida similar al de Estados Unidos o Europa, el consumo mundial de recursos se triplicaría.

*En la gráfica de la derecha se representa el crecimiento de la población mundial y su previsión, entre 1750 y 2050, distinguiendo entre zonas más desarrolladas (industrializadas) y zonas más pobres.*

- a) ¿Qué población había en 1970?
- b) ¿Cuánto tardó en duplicarse?
- c) A la vista de las diferencias que se aprecian en la gráfica, ¿cuál es el modo más efectivo de enfrentarnos a la superpoblación del planeta?



Analizando la gráfica, podemos ver que la población mundial en 1970 era del orden de 3500 millones de habitantes y que se duplicó aproximadamente en 40 años. Las previsiones indican que para 2050 se superarán los 9000 millones de habitantes. También podemos ver que el aumento de población es mucho mayor en las regiones en desarrollo que en las industrializadas (o más desarrolladas), mostrando que el mejor método anticonceptivo es la incorporación de la mujer al trabajo (junto con el acceso a la cultura, sanidad, educación, una jubilación digna, etc.).

Ya hemos comentado que la población mundial supera ya los 7000 millones pero aproximadamente, tan solo una quinta parte ostenta un modelo de hiperconsumo y bienestar, frente a un resto formado por amplios sectores de marginados en sociedades opulentas y por los miles de millones de habitantes de países subdesarrollados (o con serios conflictos sociales, políticos y medioambientales), que apenas pueden sobrevivir pero que aspiran a una vida mejor. Todo ello da lugar a grandes desigualdades.

*¿Qué relación puede tener el cambio climático con la existencia de grandes desigualdades entre distintas poblaciones humanas?*

Entre las grandes (y graves) desigualdades que afectan a distintos grupos humanos, es posible referirse a: Las diferencias en la esperanza de vida (en algunos países africanos, por ejemplo, la esperanza de vida no llega a los cincuenta años), la explotación laboral, el acceso a la educación o la sanidad, etc., pero también a la existencia de: grandes diferencias en la calidad del medio ambiente y en la disponibilidad de agua potable y de otros recursos básicos. Todas esas desigualdades están siendo (cada vez más) una fuente de conflictos.

El cambio climático, al incidir negativamente en recursos naturales como el agua potable, algunas fuentes de energía, suelos de cultivo, bosques, etc., va a contribuir a acelerar su agotamiento, a potenciar las luchas por el control de los mismos y a la aparición de migraciones masivas de un gran número de personas buscando mejores condiciones de vida en otros lugares y, sin duda, un habitante de una gran ciudad consume más recursos y más energía que un habitante del medio rural. Además, la pobreza extrema obliga también a la sobreexplotación de los ecosistemas contribuyendo a la disminución de recursos naturales, algunos de ellos muy importantes para frenar el cambio climático (como sucede con los bosques).

## 5.2. ¿Qué medidas concretas conviene impulsar frente al cambio climático?

Hemos visto que el cambio climático es uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la humanidad pero no el único y que a su vez está relacionado con otros como el hiperconsumo, la superpoblación y la existencia de grandes desigualdades. Las estrechas relaciones existentes entre todos ellos, permiten comprender la necesidad de un **desarrollo sostenible**<sup>13</sup> mundial como marco global en el que hacerles frente de forma conjunta y simultánea y la poca efectividad que tendría tratarlos de forma aislada.

Sabemos cuáles son los problemas y sus causas. Además, disponemos de los conocimientos necesarios para poder enfrentarnos a ellos. Falta, sin embargo, tomar las decisiones necesarias para poner en marcha de forma efectiva las medidas que permitan la transición hacia la sostenibilidad. Todavía estamos a tiempo, pero es necesario actuar ya, antes de que se produzcan cambios irreversibles. A continuación trataremos algunas de esas medidas.

### 5.2.1. Medidas científico-tecnológicas

*¿Qué medidas de tipo científico-tecnológico conviene impulsar para favorecer un desarrollo sostenible y poder hacer frente así al conjunto de graves problemas que suponen una seria amenaza para la vida en el planeta?*

Es necesario dirigir los esfuerzos de investigación e innovación hacia el logro de tecnologías favorecedoras de un desarrollo sostenible incluyendo, entre otras:

- ✓ Mayor utilización de fuentes de energías limpias y renovables.
- ✓ Incremento de la eficiencia energética (que posibilite el necesario ahorro de energía). Ello puede hacerse mediante mejoras tecnológicas en muchos campos (por, ejemplo, en la construcción, iluminación, electrodomésticos, automoción ...) y dando prioridad a sectores como el ferrocarril y el transporte marítimo.
- ✓ Reducción de la contaminación con la disminución y tratamiento de residuos.
- ✓ Gestión sostenible del agua y otros recursos esenciales.
- ✓ Desarrollo de tecnologías agrarias y forestales sostenibles.
- ✓ Prevención y tratamiento de enfermedades (en particular las que azotan a los países menos desarrollados).
- ✓ Logro de una paternidad y maternidad responsables, evitando los embarazos indeseados y fomentando tasas de natalidad adecuadas a los recursos disponibles.
- ✓ Regeneración de entornos dañados.

<sup>13</sup> El desarrollo sostenible, es aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

- ✓ Fabricación de objetos con materiales biodegradables.
- ✓ Capturar y almacenar CO<sub>2</sub>.
- ✓ ...

Es preciso analizar con cuidado las nuevas medidas científico-tecnológicas que se pretenden llevar a cabo, para que las aparentes soluciones no generen problemas más graves, como ha sucedido ya otras veces. Pensemos, por ejemplo, en la revolución agrícola que tras la segunda guerra mundial, incrementó notablemente la producción de las cosechas gracias a los fertilizantes y pesticidas químicos como el DDT, satisfaciendo así las necesidades de alimentos de una población mundial que experimentaba un rápido crecimiento; pero sus efectos perniciosos (cáncer, malformaciones congénitas...) fueron denunciados y el DDT y otros “Contaminantes Orgánicos Persistentes” (COP) han sido prohibidos en muchos países. Recordemos también lo ocurrido al pretender resolver el problema de los despojos animales reutilizándolos en forma de piensos (harinas cárnicas) que generó el problema, mucho mayor, de las “vacas locas”, obligando a sacrificar millones de cabezas de ganado. Recientemente se han sugerido, para luchar contra el cambio climático, soluciones muy discutibles tales como echar hierro a los océanos (para estimular el crecimiento de algas marinas que eliminan más CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis), inyectar sulfatos en la estratosfera (que reflejen la luz solar) o impulsar el uso de la energía nuclear (que produce sólo la sexta parte de CO<sub>2</sub> que el carbón, por cada kWh de energía eléctrica producido).

*Además de no generar problemas más graves que los que pretenden solucionar ¿qué otros criterios convendría tener en cuenta para hacer que las nuevas soluciones científico-tecnológicas puedan contribuir realmente a un desarrollo sostenible?*

Para que las soluciones científico-tecnológicas puedan contribuir a un desarrollo realmente sostenible<sup>14</sup>, habría que conseguir que:

- ✓ Las tasas de explotación de los recursos naturales renovables no superen a las de su regeneración (o, para los no renovables, a las de creación de sustitutos renovables).
- ✓ Las tasas de emisión de residuos deberían ser inferiores a las capacidades de asimilación de los ecosistemas a los cuales se emiten esos residuos.
- ✓ Dar prioridad a tecnologías que aumenten la productividad de los recursos, más que incrementar la cantidad de recursos extraídos. Esto significa, por ejemplo, formas de iluminación más eficiente, frente a más centrales eléctricas.
- ✓ Favorecer el desarrollo de aquellas nuevas tecnologías que estén orientadas a la satisfacción de necesidades básicas y que contribuyan a reducir las desigualdades entre los distintos grupos humanos.

Cabe señalar que la aplicación de nuevas tecnologías se enfrenta, a menudo, con intereses particulares a corto plazo y también con impedimentos de tipo ético y político. Ello viene a cuestionar la idea simplista de que las soluciones a los problemas con que se enfrenta hoy la humanidad dependen, únicamente, de la disposición de tecnologías más avanzadas.

Entre las nuevas tecnologías, tienen un papel esencial las que permiten utilizar energías renovables. Por energía renovable se entiende aquella que se obtiene de una fuente prácticamente inagotable y que se encuentra en la naturaleza. Su carácter inagotable hace refe-

---

<sup>14</sup> No puede ser realmente sostenible nada que suponga un crecimiento neto continuado basado en el consumo de unos recursos naturales no renovables.



rencia a su cantidad y duración (por ejemplo el Sol va a durar bastante más que la Tierra) o bien a que se puede reponer de forma natural y volver a ser usada (por ejemplo la madera o el agua). Entre las energías renovables se encuentran la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, y la procedente de la biomasa (ésta última tiene graves inconvenientes cuando se obtiene de cereales que podrían dedicarse a la alimentación en lugar de quemarlos y no de restos vegetales).

Actualmente, el agotamiento de fuentes de energía como el petróleo o el uranio y los graves problemas medioambientales que ocasiona el creciente consumo de esas fuentes de energía, han abierto un gran debate en torno a la necesidad de potenciar el uso de las fuentes de energía renovables limpias.



En España, en el año 2010, las energías renovables en su conjunto supusieron algo más del 9% del total de energías primarias utilizadas, y el 35% de la generación de electricidad, siendo la energía eólica (aerogeneradores) el sector de mayor crecimiento. Desgraciadamente, con posterioridad a esa fecha, el apoyo al desarrollo de las renovables se ha visto drásticamente reducido (algo incomprensible en un país tan rico en sol y tan pobre en petróleo).

Algunos autores proyectan un futuro basado en las energías renovables, su almacenamiento y su distribución y aprovechamiento usando nuevas tecnologías. En mayo de 2011 el IPCC publicó un sólido informe donde se mostraba la viabilidad de satisfacer las necesidades energéticas del planeta contando únicamente con recursos renovables y limpios. En dicho informe se expresaba también la necesidad de realizar las inversiones necesarias para lograr este objetivo antes de 2050, con lo que se podría evitar que la concentración de gases de efecto invernadero supere valores incontrolables.



Muchas de las medidas tecnocientíficas expuestas están ya disponibles, pero precisan para su implantación efectiva y generalizada de una serie de condiciones que no se proporcionan, quizás porque afectan a planteamientos ideológicos y a intereses económicos. Todo ello hace ver la importancia de las medidas educativas y políticas que deben acompañarlas.

### 5.2.2. Medidas educativas

Se precisa una educación que ayude a comprender los problemas ambientales y del desarrollo en su globalidad, teniendo en cuenta las repercusiones a corto, medio y largo plazo, tanto para una colectividad dada como para el conjunto de la humanidad y nuestro planeta.

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

Pero no se trata únicamente de comprender. Es preciso conocer y, sobre todo, poner en práctica, lo que cada uno puede hacer, junto a muchísimos otros, en los distintos ámbitos.

*¿Qué podemos hacer cada uno de nosotros? (Elaborad una lista con vuestras propuestas concretas y argumentadlas posteriormente).*



A continuación, y a título de ejemplo, se detallan algunas propuestas elaboradas por expertos y también otras sugeridas por los asistentes a distintos cursos en donde se ha ensayado esta actividad.

### **Reducir el consumo de:**

**Agua** (utilizar dispositivos de ahorro en casa, duchas rápidas, control de fugas de agua, riego por goteo, no dejar grifos abiertos...).

**Energía en climatización** (aislar térmicamente la vivienda; no programar temperaturas ni demasiado altas ni demasiado bajas; priorizar otros métodos como ventilación natural, toldos, ponerse más o menos ropa ...).

**Energía en iluminación** (usar luces de bajo o muy bajo consumo como la tecnología LED, aprovechar al máximo la luz natural, apagar siempre las luces innecesarias o de los sitios donde no vayamos a estar, no contratar una potencia mayor de la necesaria...).

**Energía en transporte** (desplazarse a pie o en bicicleta, usar transporte público colectivo como tren o autobús, organizar desplazamientos de varias personas en un mismo vehículo, conducir a velocidad reducida utilizando marchas largas y sin aceleraciones bruscas, subir y bajar por escaleras en vez de usar ascensores, evitar viajes en avión siempre que sea posible ...).

**Energía en electrodomésticos** (comprar electrodomésticos de bajo consumo; cargar al máximo el lavavajillas o lavadora antes de poner en funcionamiento; mantener aparatos en buen estado para evitar sobreconsumos; no dejar televisor, ordenador o equipos de música en modo stand-by; utilizar pilas recargables...).

**Energía en la alimentación** (mejorar la alimentación incluyendo más frutas y verduras, sin excederse en el consumo de carnes; evitar productos exóticos que exigen transportes largos; consumir productos de temporada; priorizar alimentos con baja huella ecológica...).

**Papel** (evitar imprimir documentos que se puedan leer en pantalla; escribir, fotocopiar e imprimir a doble cara, sin utilizar márgenes excesivos...).

**Artículos y productos innecesarios** (ir a la compra con una lista previa de lo que nos hace falta, no dejarse arrastrar por campañas publicitarias...).

**Colaborar en el reciclaje:**

**Separar** restos producidos en el hogar para su recogida selectiva (vidrio, papel, orgánicos ...).

**Llevar a ecoparques** u otros puntos de recogida selectiva todo tipo de productos contaminantes que haya que desechar (pilas usadas, aceite, móviles, ordenadores, productos tóxicos, electrodomésticos, baterías de coche usadas, fluorescentes ...).

**Usar productos reciclados** (papel, cartuchos de tinta ...).

**Utilizar:**

**Productos respetuosos con el medio ambiente** (materiales reciclables, no tóxicos, biodegradables, con baja huella de carbono...).

**Energías renovables** (paneles solares, comercializadoras de electricidad que utilicen renovables...).

**Sistemas inteligentes** (programadores, luces que se encienden sólo cuando pasas o estás ...).

**Energía eléctrica de origen limpio** (contratando con compañías comercializadoras que trabajen solo con energía obtenida a partir de fuentes renovables).

**Reutilizar:**

El papel ya escrito por una cara.

Agua de lluvia para regar.

Ropa y otros complementos usados.

Aceite usado para hacer jabón.

Llevar a las farmacias medicamentos sobrantes para que los puedan utilizar otras personas.

Dar ropa, juguetes, calzado ... a organizaciones que se encarguen de gestionar su reparto a otros.

Tratar de conseguir lo que necesitemos en el mercado de segunda mano.

Dar otros usos (convertir botes vacíos en contenedores de lápices y bolígrafos, bidones vacíos en compostadoras para transformar restos vegetales en abono...).

**Rechazar el usar y tirar:**

Sustituir las bolsas de plástico de un solo uso (en particular en las compras), por bolsas de uso continuado.

Reparar antes que desechar y cambiar (suelas de zapatos, ropa, electrodomésticos y otros aparatos ...).

**Participar activamente en la educación ciudadana y las decisiones políticas:**

Colaborar con organizaciones ecologistas, votar a partidos políticos que en sus programas incluyan medidas para la sostenibilidad, realizar tareas de divulgación (amigos, familia, etc.)...

En cuanto al profesorado, tanto en formación como en activo, cabe plantearse la siguiente cuestión:

*Un aspecto esencial, que no puede faltar aquí, es qué es lo que puede hacer el profesorado para contribuir desde la educación a la transición hacia la sostenibilidad. Debatid la cuestión y sugerid propuestas concretas.*

Entre otros aspectos, merece la pena prestar atención a los siguientes (todos ellos indicativos de la dimensión de sostenibilidad que debe formar parte de la competencia educativa de todo el profesorado):

**1. Dar testimonio de actitudes y comportamiento personal sostenibles,** que tomen en consideración las medidas recopiladas en la actividad anterior, la apuesta por tecnologías respetuosas con el medio y las personas, la participación en acciones ciudadanas para la sostenibilidad, y la evaluación (y compensación) de la propia huella ecológica, etc.

**2. Incorporar la sostenibilidad en la propia enseñanza.** Impregnar los currículos de las materias impartidas (en todos los niveles y para todas las áreas) de la problemática de la sostenibilidad; proceder sistemáticamente a la evaluación (entendida como seguimiento y apoyo) de los cambios de actitud y comportamiento conseguidos en los alumnos...

**3. Hacer uso de la educación no reglada.** Utilizar la prensa y otros medios de comunicación, los documentales de divulgación, los museos de ciencias y etnológicos, etc., aprovechando tanto sus aportaciones como sus carencias (estimulando el análisis crítico).

**4. Impulsar medidas de sostenibilidad dentro del propio centro educativo.** Contribuir a crear y participar en comisiones de centro para establecer compromisos de consumo responsable (luz, agua, papel...), separación y reciclado de residuos, etc., y realizar su seguimiento; contribuir a la incorporación de la sostenibilidad en los currículos de todas las materias impartidas en el centro; implicar al conjunto de la comunidad educativa en acciones por la sostenibilidad; organizar actos con motivo de días señalados (5 de junio, 10 de diciembre...)

**5. Contribuir a la formación ciudadana fuera de la escuela.** Elaborar materiales para la formación ciudadana; organizar conferencias, debates, talleres, cursos, seminarios, campañas de divulgación, etc., colaborando con instituciones cívicas y académicas; instar a las autoridades educativas y políticas para que se incorpore la educación para la sostenibilidad en todas las áreas y niveles, incluida la educación no formal (TV, radio, prensa, museos...)

**6. Participar en tareas de investigación e innovación para la sostenibilidad.** Implicarse en proyectos de investigación e innovación para impulsar actitudes y comportamientos sostenibles y salir al paso de obstáculos como, por ejemplo, algunas concepciones contrarias a la sostenibilidad, tanto de los estudiantes, como de la ciudadanía en general y el propio profesorado; analizar el tratamiento dado a la sostenibilidad en los libros de texto y otros materiales y recursos escolares, así como en los media, museos, etc.; elaborar materiales escolares y para la formación del profesorado; promover la incorporación de esta problemática en congresos, seminarios, jornadas y en las revistas educativas...

**7. Apoyar los objetivos de la Década de la Educación por un Futuro Sostenible.** Atención a los llamamientos de Naciones Unidas que ha instituido la Década de la Educación por un futuro sostenible para el periodo 2005-2014; adherirse a la Década ([www.oei.es/decada/adhesiones.htm](http://www.oei.es/decada/adhesiones.htm)) e impulsarla compartiendo iniciativas; apoyar igualmente otras iniciativas por un futuro sostenible surgidas de otros contextos.

### 5.2.3. Medidas políticas

La incidencia del cambio climático podría limitarse si se emprendiera una acción conjunta mundial para facilitar el cambio de una economía marrón (basada en el uso de combustibles fósiles) a una economía verde (basada en el uso de energías más limpias y el desarrollo de tecnologías que permitan su implantación) a la vez que se impulsan otras medidas para favorecer la transición a la sostenibilidad, como las que hemos comentado. Para mostrar la importancia de la política podemos hacer referencia, a modo de ejemplo, a algunas medidas políticas planetarias, ya adoptadas, que constituyen auténticos logros para la sos-

tenibilidad de la especie humana. (Esto mismo, puede ser planteado como una actividad de búsqueda bibliográfica sobre el tema).

**Protocolo de Montreal.** Tratado internacional para evitar la destrucción de la capa de ozono que nos protege de las radiaciones ultravioleta, mediante el control de los compuestos CFC responsables de dicha destrucción. (En vigor desde 1989).



**Corte Penal Internacional.** Tribunal de justicia internacional con sede en La Haya, para juzgar a quienes hayan cometido crímenes de genocidio, de guerra y de lesa humanidad como esclavitud, apartheid, exterminio y destrucción ambiental. (En vigor desde 2002).

**Protocolo de Kioto.** Tratado internacional para la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global del planeta. (Adoptado en 1997, entró en vigor en 2005). Constituye un ejemplo de la existencia de distintas políticas enfrentadas y de la necesidad de apoyar la que defiende, fundamentalmente, los intereses generales. Ratificado por 132 países, sólo dos de los países desarrollados no lo firmaron: Estados Unidos y Australia. Finalizó en 2012.

Después del protocolo de Kioto se han sucedido diversas cumbres sobre el clima como la de Bali (2007), Copenhague (2009), Cancún (2010), Durban (2011), Varsovia (2013), con resultados, en general, poco destacables, por lo que a fecha de hoy (2014) se precisa, todavía, de un amplio acuerdo internacional justo y vinculante para la reducción de gases de efecto invernadero, a escala planetaria, más ambicioso que el Protocolo de Kioto.

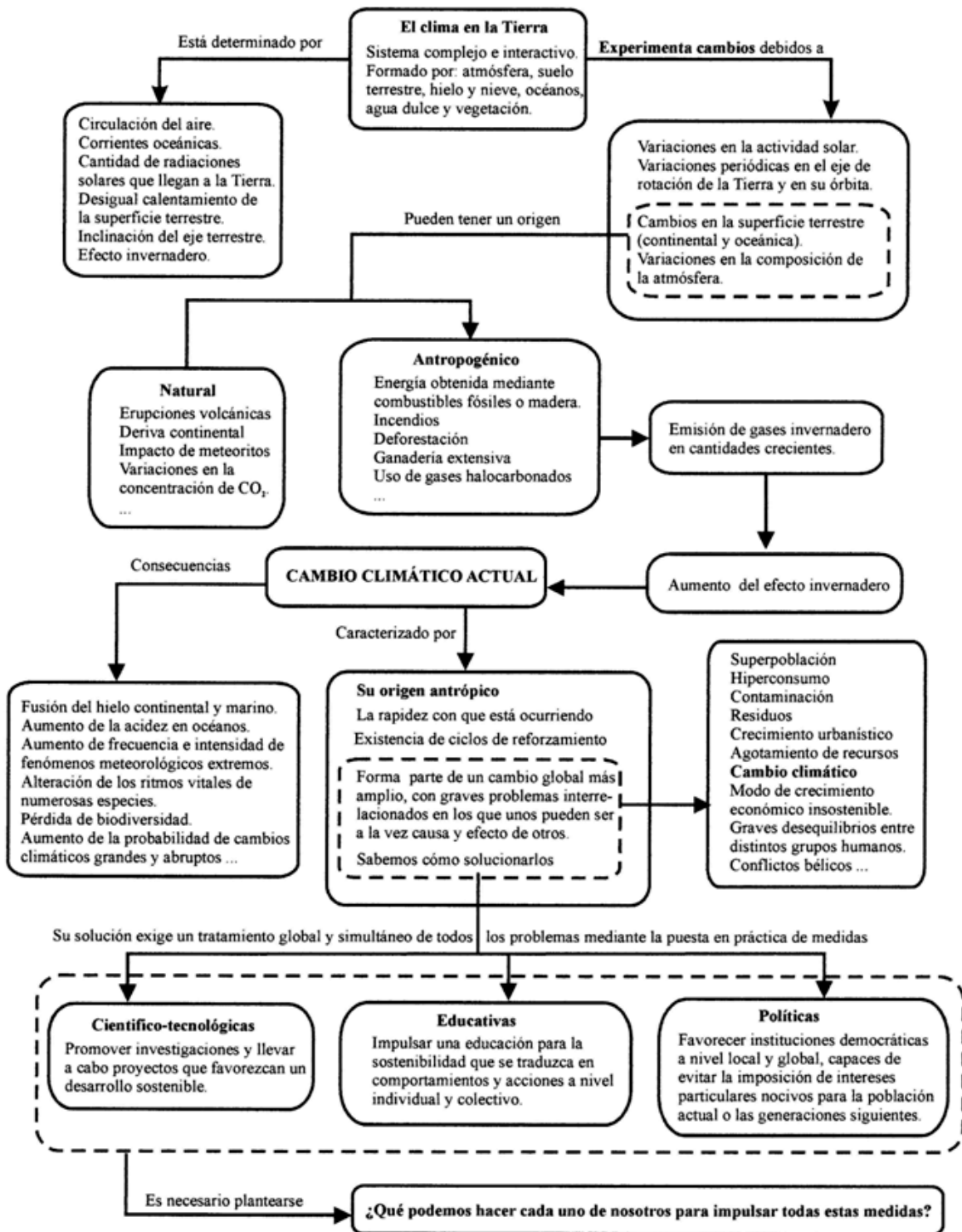
En la cumbre de Varsovia (noviembre de 2013), los cerca de 200 países participantes consiguieron llegar a un acuerdo de última hora que, aunque modesto, perfila una hoja de ruta hacia el pacto global y vinculante sobre reducción de emisiones que debería alcanzarse en París, en 2015.

Finalmente, señalar la existencia de leyes y proyectos recientes de protección del medio ambiente que conviene conocer como, por ejemplo, la obligatoriedad de colocar placas fotovoltaicas en los nuevos edificios, la sustitución masiva de bombillas incandescentes por otras de bajo o muy bajo consumo, las normas para disminuir la contaminación del aire en las ciudades o la inclusión en las etiquetas de productos agroalimentarios de la huella de carbono correspondiente. Desafortunadamente, también se legisla a veces en sentido contrario, como por ejemplo, cuando se recortan o eliminan subvenciones públicas a energías renovables y a proyectos de investigación en ese campo.

*Para terminar el tema proceded a realizar una revisión del mismo señalando los problemas inicialmente planteados y cómo hemos ido avanzando en la respuesta a los mismos. Después elaborad un esquema o mapa conceptual que proporcione una visión global de los contenidos tratados. Finalmente, contrastad vuestras propuestas con el que se incluye a modo de ejemplo en la página siguiente.*



**MAPA CONCEPTUAL DE LOS CONTENIDOS TRATADOS EN ESTE TEMA**



## RECAPITULACIÓN

En este tema hemos comenzado por analizar en qué consiste el clima terrestre y cuáles son los factores que lo determinan. A continuación nos hemos detenido en estudiar los gases invernadero y el aumento del efecto invernadero así como algunas de sus principales consecuencias, las cuales están dando lugar a un verdadero cambio climático.

También hemos visto que el cambio climático no es un problema aislado sino que está estrechamente relacionado con otros graves problemas como un modelo de crecimiento económico basado en el hiperconsumo, y un planeta superpoblado con grandes desigualdades entre distintos grupos humanos y, en particular con las consecuencias derivadas de los mismos (urbanismo descontrolado, degradación y agotamiento de recursos naturales, etc.). Todo ello muestra que la mejor estrategia para enfrentarnos al cambio climático es una acción global en la que se aborde de forma conjunta y simultánea el tratamiento de todos esos problemas. Dicha estrategia supone la puesta en marcha de medidas científico-tecnológicas, educativas y políticas que hagan posible la necesaria transición a la sostenibilidad.

El tema que acabamos de ver, ha de entenderse como una primera aproximación a la incorporación de la educación para la sostenibilidad en el currículo y en la formación del profesorado, en la que partiendo de un tema concreto (el cambio climático) se trata de plantear una problemática más global, pero dado que se trata de problemas muy relacionados entre sí (en los que unos son, a la vez, causa y efecto de otros), igualmente podríamos haber partido de otro cualquiera de ellos.

El estudio iniciado en este tema, puede no solo actualizarse recogiendo los sucesivos datos y resultados que se vayan produciendo, sino también profundizando en cada uno de los problemas y en las relaciones entre ellos, con el propósito de incorporar los contenidos adecuados en el currículo de manera funcional y contribuir así, desde la educación a la transición hacia la sostenibilidad.

## Referencias bibliográficas

- Década por una Educación para la Sostenibilidad. OEI. en <http://www.oei.es/decada>
- DUARTE, C. (Coord.) (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC.
- IPCC . Informes IV (2007) y V (2013). Accesibles en internet.
- PEARCE, F. (2007). *La última generación*. Benasque: Barrabes
- RIFKIN, J. (2010). *La civilización empática. La carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*. Barcelona: Paidós.
- URIARTE, A. Historia del Clima de la Tierra. (Última actualización online: Febrero 2011). (2ª edición impresa accesible en <http://www.elkar.com>).
- VILCHES, A. y GIL, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- GIL PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2005): ¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad? Educación para el desarrollo sostenible, en GIL PÉREZ, D.; MACEDO, B.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; SIFREDO, C.; VALDÉS, P. y VILCHES, A. (eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREALC/ UNESCO: 297-326 (accesible en <http://www.campusoei.org/decada/promocion16.pdf> ).

## POSIBLES ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN

1. **¿Es peligroso el efecto invernadero?** Diferencias entre efecto invernadero, aumento del efecto invernadero y cambio climático.

2. Actualmente ya hay coches eléctricos en el mercado. Dado que el tráfico a motor es responsable de una parte muy considerable de las emisiones no naturales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, **si la mayoría de los vehículos fuesen eléctricos ¿podría solucionarse el problema del aumento del efecto invernadero?**

3. Dicen que el uso de combustibles como el biodiesel no aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera. Sin embargo, en química se estudia que al quemar estos productos siempre se produce CO<sub>2</sub>. **¿No es algo contradictorio?** Por otra parte, suponiendo que no se de ese aumento, **¿habría algún posible inconveniente para impulsar ese tipo de combustibles?**

4. Aunque no seamos capaces de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, los combustibles fósiles acabarán por agotarse y a partir de ese momento la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera debería comenzar a disminuir gracias a la fotosíntesis de las plantas, con lo que los problemas medioambientales creados se irían solucionando poco a poco de forma natural. **¿Es así?**

5. Algunos expertos en sostenibilidad afirman que los graves problemas que aquejan a nuestro planeta están conectados unos con otros formando una especie de red y que eso hace imposible que, por ejemplo, el calentamiento global, pueda ser tratado separadamente de los demás problemas. Es necesario aclarar esto, ya que mucha gente puede no entender, por ejemplo, qué **tiene que ver la miseria en la que vive una gran parte de la humanidad con la emisión creciente de CO<sub>2</sub> por industrias y vehículos en los países más desarrollados, o los conflictos bélicos con el cambio climático, etc.** Por otra parte, si se tratase de solucionar la miseria de miles de millones de personas ... **no se potenciaría más todavía dicha emisión?**

6. Para no emitir tanto CO<sub>2</sub> a la atmósfera debemos consumir menos pero ... si reducimos mucho el consumo entramos en crisis económica, se cierran empresas y se pierde empleo. **¿No sería mejor entonces no combatir el cambio climático y tratar de adaptarnos a él?**

7. Vamos a suponer que todos los gobiernos del mundo se pusieran de acuerdo en una serie de medidas económicas y medioambientales, para atajar el cambio climático. **¿Podrían tener éxito si la población mundial continuase creciendo al mismo ritmo con que lo hace ahora?**

8. Algunos afirman que la Comunidad Valenciana es una de las comunidades españolas que emite menos CO<sub>2</sub> a la atmósfera, debido a que gran parte de la electricidad que consumimos proviene de la central nuclear de Cofrentes, situada a sólo 80 km de Valencia. **¿Puede la energía nuclear ayudar a solucionar el problema del cambio climático?** Por ejemplo, Francia, que tiene muchas más centrales nucleares que España **¿cuánto CO<sub>2</sub> menos emite (por habitante y año) que otros países similares?**

9. ¿Es verdad que **el conjunto de la comunidad científica está de acuerdo en que el cambio climático actual está causado por los seres humanos** y no tienen nada que ver otros fenómenos naturales como podrían ser perturbaciones en el Sol o variaciones en el eje de rotación de la Tierra? En la prensa, TV, internet... se recogen informaciones de gente que niega el cambio climático. **¿A quién hemos de hacer caso?** Si los científicos han mostrado claramente la gravedad de la situación **¿por qué la ciudadanía no reacciona?**

10. En la película “El día de mañana” el científico protagonista explica la entrada en una nueva era glaciaria en el hemisferio norte, por la incorporación masiva de agua dulce procedente del deshielo, que paraliza la Corriente del Golfo. Este mismo efecto, se sugiere que podría pasar realmente, en el documental de Al Gore “Una verdad incómoda” si se fundiesen los hielos de Groenlandia. **¿Podría suceder realmente?**



**11.** En algunos textos y documentales sobre el calentamiento global se menciona que nos queda poco tiempo para evitar que se produzcan graves cambios de carácter irreversible en nuestro planeta. Los científicos advierten también de la necesidad de evitar que la temperatura media global aumente en solo dos grados con respecto a la que había en 1750 (inicio de la era industrial). A veces da la sensación de que nos amenazan con el fin del mundo **¿No se está exagerando? ¿Tanto influyen un par de grados más?**

**12.** El metano es un gas invernadero unas 21 veces más potente que el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua es en realidad quien más contribuye al efecto invernadero en nuestro planeta. Además, siempre que se queman hidrocarburos no solo se produce CO<sub>2</sub> sino también H<sub>2</sub>O. **¿Por qué, entonces de quien más se habla es del CO<sub>2</sub>?**

**13.** Los expertos sobre cambio climático se refieren, a veces, a procesos de retroalimentación que pueden desencadenar cambios grandes y abruptos en el clima. **¿Hasta qué punto esto es así? ¿Podría afectarnos a nosotros o a nuestros hijos alguno de estos cambios?** El aumento de la temperatura media global será necesariamente lento (la Tierra es muy grande), así que cabe plantearse **si no habrá tiempo para ir adaptándonos a las nuevas condiciones.**

**14.** Según la mayoría de los gobiernos de la Comunidad Europea es urgente acordar estrategias conjuntas para luchar contra el cambio climático. Entonces ... **¿Por qué no se han tomado ya una serie de medidas efectivas a nivel europeo como, por ejemplo, la obligación de que todo nuevo edificio disponga de paneles solares?** Es más, **¿por qué el gobierno español actual (2014) desarrolla una política energética en contra del uso de las energías renovables poniendo, por ejemplo, obstáculos muy serios al autoconsumo?**

**15.** **¿Podrán todos los países soberanos someterse a un procedimiento de control y decisión internacional con una serie de medidas que afecten a sectores estratégicos para su desarrollo, como la energía, el transporte o la agricultura?** Los precedentes no son muy optimistas (haced una revisión crítica de las conclusiones de los encuentros internacionales ya celebrados o en marcha).

**16.** **Cuáles son las principales razones por las que los jóvenes (y el resto de la sociedad) deberíamos preocuparnos por el problema del cambio climático. ¿En qué nos va a afectar concretamente?**

**17.** Un problema tan enorme e importante como es el del cambio climático, **¿no es responsabilidad de las grandes industrias y de los políticos?, ¿qué importancia puede tener lo que cada uno de nosotros haga o deje de hacer?**

**18.** Seguro que la ciencia acabará encontrando la manera de resolver el problema del cambio climático, igual que ha resuelto ya muchos otros, entonces **¿para qué preocuparnos?**

**19.** **¿Cuáles son los problemas más preocupantes a los que se enfrenta la humanidad? ¿Cuál habría que empezar a resolver prioritariamente?**

**20.** En una situación de crisis económica y financiera como la actual, la puesta en práctica de medidas adecuadas con las que afrontar problemas tan graves como el cambio climático, la contaminación o el agotamiento de recursos naturales, es vista por muchos dirigentes como un obstáculo a la salida de dicha crisis, para la que no ven otra solución que reactivar el consumo, volviendo a las tasas de crecimiento anteriores. Sin embargo, también hay quienes afirman que esta crisis constituye una buena oportunidad para reconsiderar el modelo económico vigente, basado en los combustibles fósiles y en el hiperconsumo, y comenzar a cambiarlo por otro basado en energías renovables, nuevas tecnologías y sostenibilidad, que al mismo tiempo que crea nuevos empleos permita avanzar en la solución de esos problemas. **¿Quién tiene razón?**

## 11. Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible\_\_\_\_\_

**21.** La sustitución de una bombilla incandescente de 100 W por otra de bajo consumo evita la emisión de 0'5 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Calculad cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> se podría evitar emitir a la atmósfera cada año si se sustituyesen 10 millones de dichas bombillas. Rdo.  $5 \cdot 10^6$  t.

**22.** Una persona cambia una bombilla incandescente de 60 W por otra equivalente de bajo consumo de 11 W. Suponiendo que esa bombilla esté encendida un total de 500 h al año y que cada kWh se pague a 1'5 euros. a) ¿Cuánta energía y cuanto dinero se ahorraría por ese pequeño cambio? b) ¿Y si en lugar de una sola persona fuesen 100 millones? Rdo. a) 24'5 kWh y 36'75 euros; b) 2450000000 kWh y 3675000000 euros.

**23.** De acuerdo con su distancia al Sol, la temperatura media teórica de Venus debería ser 155 °C y la de Marte de -63 °C, mientras que las temperaturas medias reales son 447 °C y -55 °C. Por otra parte, se sabe que la atmósfera de Venus es muy densa y está formada aproximadamente por un 96% de CO<sub>2</sub> y un 3'5% de N<sub>2</sub>, mientras que Marte tiene una atmósfera muy tenue. ¿A qué pueden deberse todas estas diferencias?

**24.** ¿Por qué la deforestación favorece el efecto invernadero?

**25.** Una persona gasta de media al mes: 300 kWh de electricidad y 40 m<sup>3</sup> de gas natural. Además hace 20000 km con su todoterreno al año. También ha realizado un viaje turístico de ida y vuelta París-Shanghái en avión. ¿De cuántos kg de CO<sub>2</sub> al año se puede considerar que es responsable a causa de estas acciones?

Datos: Suponed que por cada kWh se han producido 376 g de CO<sub>2</sub>. Cada m<sup>3</sup> de gas natural quemado produce aproximadamente 2 kg de CO<sub>2</sub>. El coche emite 230 g de CO<sub>2</sub> por cada km recorrido. En un avión de pasajeros (el vehículo que más CO<sub>2</sub> produce) se emiten aproximadamente unos 94'2 g de CO<sub>2</sub> por persona y kilómetro. Distancia Paris-Shanghái es de 19256 km.

Rdo. 10544'4 kg

**26.** En las noches despejadas de invierno suele notarse que la temperatura baja bastante más que durante la misma época si el cielo permanece nublado. ¿A qué puede ser debido?

**27.** Los HFCs son gases invernadero en auge, debido a la creciente demanda mundial de aire acondicionado y refrigeración en general. Con este dato, proponed un posible ciclo de reforzamiento, similar a los que se han presentado en el tema.

**28.** Los datos siguientes han sido extraídos del anexo II del V informe del IPCC. A partir de ellos, construid una gráfica que muestre la evolución histórica de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y haced una predicción de cuándo podría alcanzarse una concentración de 500 ppm si no actuamos y se sigue la tendencia plasmada dicha gráfica.

Año	Concentración de CO <sub>2</sub> en ppm	Año	Concentración de CO <sub>2</sub> en ppm
1760	276'5	1900	296'2
1780	278'2	1920	303'3
1800	282'6	1940	310'4
1820	283'3	1960	316'7
1840	284'1	1980	338'0
1860	286'1	2000	368'7
1880	289'8	2011	390'5

## 12. INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Al comienzo de este proyecto se planteó el problema de qué es lo que los profesores de ciencias hemos de saber y saber hacer. Esto nos permitió, además de dar una visión global sobre dicho problema, el establecimiento de un hilo conductor en el que se han ido tratando los bloques de conocimientos que se señalaron como más importantes. Todos ellos (desde ideas sobre la ciencia y el trabajo científico a la evaluación como instrumento de aprendizaje), estaban conectados a su vez con el de la innovación e investigación educativas. Nuestra intención ahora, es abordar de forma específica este último bloque facilitando una primera aproximación a la problemática, técnicas de trabajo, terminología... más usuales de la investigación en Didáctica de las Ciencias, de forma a hacer posible una lectura más comprensiva de los artículos publicados y la adecuación de nuestro propio trabajo en el aula a las exigencias de dicha investigación. Con ello queremos dar la importancia que merece a este aspecto, que se considera central en la mayoría de los proyectos de didáctica, pero que o bien no se trata o bien se hace de una forma mecánica, superficial y, sobre todo, poco coherente a como se hace con el resto de los temas.

Antes de comenzar, nos detendremos en analizar en qué consiste la investigación educativa.

*Exponed qué puede entenderse por investigación educativa.*

La realización de esta actividad permite llegar a una definición aceptable como sería la de que se trata de un trabajo sistemático en el que se intentan obtener nuevas aportaciones que incidan favorablemente en el proceso de enseñanza-aprendizaje permitiendo un mayor conocimiento del mismo y aumentando sus posibilidades.

Es preciso resaltar que se trata de una actividad con aspiración científica y como tal, se halla encuadrada en ciertos paradigmas más o menos explícitos que la orientan, sin que de ninguna manera sus logros puedan atribuirse a la improvisación o a procedimientos de ensayo y error. Como ejemplo, podemos referirnos a la influencia de teorías como el conductismo, el inductivismo, el descubrimiento autónomo, o el constructivismo, en este tipo de investigación. Conviene aclarar que el término *investigación educativa* es más amplio que el de *investigación didáctica*. La primera comprende cualquiera de las vertientes de la educación: pedagogía, didáctica, psicología de la educación, sociología de la educación, organización escolar, etc. Además, la investigación educativa cuenta con una larga tradición, centrada, sobre todo en los problemas de la enseñanza primaria. Sin embargo, la Didáctica de las Ciencias no comenzó a desarrollarse hasta la década de los 80, aunque actualmente ya se considera como un cuerpo global y coherente de conocimientos, centrado en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, con sus propios investigadores y líneas de investigación, revistas específicas, congresos internacionales, etc., pudiendo decirse que el paradigma que orienta la investigación en didáctica de las ciencias es el propio cuerpo teórico de conocimientos ya existente.

## 12. Iniciación a la investigación educativa

Conviene que nos detengamos también en recordar las relaciones entre investigación educativa y actividad docente:

*Considerad la relación existente entre el trabajo del profesorado y la investigación educativa y enumerad diversas razones por las cuales interesa aumentarla.*

La mejora de la enseñanza requiere no solo abordar los problemas desde una óptica investigadora sino, también, que el conocimiento generado sea compartido por los profesores y aunque esto pueda parecer una obviedad, la realidad es que en el campo educativo, la fractura entre investigación y práctica, ha sido (y sigue siendo) muy grande. Muchos docentes no parecen muy proclives a incorporar en sus clases los avances de la investigación educativa y miran a los investigadores con recelo, viéndolos en general como teóricos (aunque sus investigaciones sean empíricas) que desconocen la realidad de las aulas.

Entre las posibles causas que explican la situación que acabamos de describir, cabe referirse a:

- ✓ La creencia entre una parte del profesorado en activo de que nadie está capacitado para decirles qué pueden hacer para mejorar su enseñanza.
- ✓ La naturaleza de algunos problemas investigados que, a menudo, no han sido percibidos como relevantes o de utilidad por el profesorado.
- ✓ La falta de preocupación por unir la investigación a la práctica educativa.

Esta situación, al menos en lo que se refiere a la Didáctica de las Ciencias, parece estar cambiando en los últimos años como muestra el gran número de revistas específicas, que evidencia no solo una abundancia de investigaciones en este campo sino también la existencia de un mercado que las consume y que va en aumento. No obstante, la relación entre el profesorado y la investigación didáctica es todavía escasa y se precisa un mayor esfuerzo por aumentarla, fundamentalmente porque:

- ✓ Un conocimiento adecuado de ciertos temas como los tratados anteriormente en este proyecto (introducción de conceptos, trabajos prácticos, resolución de problemas, evaluación, etc.) exige conocer los principales resultados obtenidos en la investigación realizada en cada uno de esos campos y que se comprendan sus implicaciones en el aula.
- ✓ El proceso, naturalmente, no habría de limitarse a aplicar dentro del aula lo que una élite de especialistas diseña fuera de ella, sino que tendría que realizarse mediante una incorporación más activa de los profesores en este tipo de tareas, a través de una labor de equipo. Esta es la mejor forma de superar la barrera existente entre, por una parte, los "pensadores" que realizan una investigación de laboratorio y por otra, los simples (y escasos) "aplicadores" en el aula de los resultados obtenidos por los primeros.
- ✓ Es un hecho constatado que, al igual que aquellos alumnos que conocen que están participando en alguna experiencia innovadora se esfuerzan más en obtener mejores resultados, los profesores que están implicados activamente en alguna investigación, también experimentan algo similar y en consecuencia mejora sensiblemente la calidad de su enseñanza, la cual se vuelve más compleja, pero también mucho más interesante.

- ✓ Finalmente, resaltar que la conveniencia de que el profesorado investigue se hace aún más patente, si cabe, cuando se concibe el currículo no como un conjunto de contenidos fundamentalmente conceptuales, sino como el programa de actividades a través del cual los alumnos pueden, con la orientación del profesor, construir y desarrollar los distintos conocimientos. En ese caso, el diseño de las actividades adecuadas, capaces de favorecer significativamente dicho proceso, así como su experimentación y el análisis de los resultados, introducción de cambios apropiados, consultas bibliográficas, etc., supone un verdadero trabajo colectivo de investigación-acción, serio y continuado.

Cabe concluir pues, que la idea de "cada profesor un investigador" es, como ya señalábamos al comienzo de este proyecto, algo más que un simple eslogan: es una necesidad objetiva de la propia enseñanza. En otras palabras: la investigación educativa no puede tener un impacto real en la docencia, a menos que el profesorado se implique también en dicha investigación: Por tanto, es preciso un mayor esfuerzo colectivo para superar los obstáculos que se oponen a ello. No solo por parte del profesorado sino también por las autoridades educativas que han de implementar políticas adecuadas y poner a disposición de los profesores los medios necesarios.

### **¿Sobre qué problemas concretos trataremos de avanzar en este tema?**

Evaluar la eficacia de un determinado modelo de enseñanza, comparar distintos métodos de resolución de problemas o de plantear las prácticas de laboratorio, averiguar en qué medida ha sido o no cambiada una determinada idea por otra, etc., son algunos ejemplos de las numerosas actividades que el profesorado de ciencias debe realizar para poder medir y mejorar la eficacia de su trabajo en el aula. Ello requiere de una familiarización con la investigación educativa, por lo que el problema fundamental que vamos a tratar aquí va a ser realizar una primera aproximación a dicha investigación, mostrando que ello puede hacerse siguiendo las mismas pautas (programa de actividades) que en los temas anteriores. Dicho problema nos lleva a plantear algunas preguntas como las siguientes:

- ¿Qué tareas se suelen realizar en una investigación educativa?
- ¿Cómo organizar los datos y analizar los resultados obtenidos?
- ¿Cómo evaluar la calidad de una investigación?

*Indicad algunas de las tareas más importantes que suelen llevarse a cabo en la realización de una investigación educativa.*

Esta actividad permite reconocer que efectivamente, en la investigación educativa se encuentran presentes también algunas tareas propias de la investigación científica como el planteamiento de problemas, la consulta bibliográfica, la emisión de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, contrastaciones, análisis de resultados, búsqueda de coherencia global, etc., y justificar que en la primera parte de este tema nos detengamos en estudiar las características específicas que presentan dichas tareas cuando se aplican a la investigación educativa.

Trataremos, pues, a continuación algunos aspectos importantes que conforman la estructura de una investigación, comenzando por la identificación y formulación de problemas.

## 12. Iniciación a la investigación educativa

### 1. LA IDENTIFICACIÓN Y FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

*Indicad posibles procedimientos de identificación de problemas educativos a investigar.*

Cuando hemos ensayado esta actividad en cursos de formación didáctica, los asistentes suelen referirse a procedimientos tales como los problemas observados en clase, la consulta de revistas especializadas, estar formando parte de algún equipo que se dedique a la investigación, etc., (procedimientos básicamente coincidentes con los utilizados en la investigación científica).

La lectura y revisión de publicaciones relacionadas con la investigación educativa, puede servirnos como fuente de problemas interesantes para investigar cuando, por ejemplo: no existe información relevante sobre el tema que nos interesa (o es incompleta), no hay consenso entre los investigadores, los resultados o conclusiones de las investigaciones realizadas hasta el momento no están debidamente comprobados, etc. También es posible que una investigación esté muy bien realizada, pero se precise o convenga comprobar sus resultados otra vez para verificar la permanencia y validez de sus conclusiones. Esta última posibilidad es, además, una forma muy adecuada de iniciarse en la investigación (mediante la réplica de investigaciones ya realizadas).

Por otra parte, en las investigaciones educativas de calidad (al igual que ocurre con las buenas investigaciones científicas) no solo se avanza realmente en la solución de los problemas inicialmente planteados, sino que también suelen suscitarse, a raíz de ellas, nuevos problemas sobre los que merece la pena investigar.

En general, podemos decir que se plantea la necesidad de una investigación cuando nos encontramos con problemas que reclaman soluciones. De hecho, la incorporación de un número creciente de docentes a la investigación tiene su origen en las dificultades encontradas en su trabajo... y a la renuncia a interpretaciones simplistas de las mismas. Sin embargo, la existencia de un problema no es suficiente. Para iniciar una investigación efectiva, es preciso que dicho problema se formule de modo que satisfaga unos requisitos mínimos.

*Señalad algunos de los requisitos que debería de satisfacer un problema correctamente formulado.*

Se pretende reflexionar, fundamentalmente, sobre la necesidad, en primer lugar, de escoger un problema que sea susceptible de ser investigado, lo que exige, en la mayor parte de los casos, que se refiera a relaciones entre dos o más **variables**<sup>15</sup> y que se formule de manera precisa.

En efecto: aunque un problema inicialmente puede ser confuso, es necesario que a lo largo de la investigación éste sea formulado de modo claro e inequívoco y pueda dar lugar a una investigación empírica que permita avanzar en su solución.

*En la investigación educativa se manejan a menudo conceptos como variable independiente, dependiente e interviniente. Tratad de interpretar dichos conceptos.*

---

<sup>15</sup> Variable es un concepto o característica que contiene variaciones. Las hay que se expresan numéricamente (variables numéricas), como por ejemplo, el rendimiento académico o la edad, mientras que otras se describen mejor mediante categorías (variables categóricas), como el género, la profesión de los padres, etc.

Se trata de establecer que las variables **independientes** son las condiciones o características que manipula el experimentador (por ejemplo: número de prácticas de laboratorio realizadas durante un curso); las **dependientes**, son las que aparecen, desaparecen o cambian según el experimentador introduce, quita o cambia variables independientes (por ejemplo: rendimiento académico de los alumnos en Química). En este caso, se puede suponer que la realización de más o menos prácticas de Química puede estar relacionada con el mayor o menor rendimiento de los estudiantes en la asignatura. Naturalmente, existen también otras variables que, aunque no sean de interés directo para el experimentador, pueden intervenir y tener un efecto importante en el resultado como, por ejemplo: renta familiar, número de alumnos repetidores, nivel cultural de los padres, etc. Dichas variables **intervinientes**, pueden ser controladas fijándolas, o bien tomando una muestra de alumnos suficientemente amplia para que sus efectos se diluyan de tal forma que no influyan en los resultados.

La naturaleza de las variables no es una cualidad intrínseca de las mismas. Al contrario, lo que hace que las consideremos como dependientes o independientes es el papel que se les asigna en la investigación, como se puede comprobar sin más que considerar los párrafos siguientes:

"Los alumnos que obtienen un rendimiento académico superior a la media del grupo en una materia determinada, manifiestan un interés por la misma superior al normal"

"Los alumnos que manifiestan un interés superior al normal en una materia determinada, obtienen un rendimiento académico mayor que el correspondiente a la media del grupo"

En el primero, la variable independiente es el rendimiento académico y la dependiente el interés por la asignatura. En el segundo ambos papeles están cambiados.

Finalmente, atendiendo a los valores que pueden tomar, se denominan variables **continuas** aquellas que pueden tomar cualquier valor entre dos extremos dados (como, por ejemplo, las notas numéricas de exámenes). Las variables **discretas**, son las que presentan solo determinados valores (número de asignaturas pendientes, edad en años enteros, etc.), dentro de estas últimas se llaman dicotómicas las que solo pueden tener dos valores posibles (como, por ejemplo, el sexo). En la práctica, muchas variables continuas se pueden convertir en discretas (por ejemplo, calificaciones entre 0 y 10 pero sin decimales).

El cuerpo de conocimientos teórico en el cual se inserta toda investigación, tiene, como ya hemos señalado, un papel fundamental. Una consecuencia de ello es la necesaria búsqueda bibliográfica que ha de realizarse desde el inicio mismo de toda investigación. Se trata de una tarea fundamental, que puede muy bien ocupar más de la mitad del tiempo total empleado en un trabajo de investigación. Conviene, pues, que nos detengamos en considerar este aspecto.

*Dad una relación de las fuentes bibliográficas que se conozcan sobre la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias.*

Esta actividad permite conectar con la información que se dispone acerca de las fuentes bibliográficas de distinto tipo en el área de la Didáctica de las Ciencias y, si es necesario, completar dicha información. A título de ejemplo, podemos referirnos, entre mu-

## 12. Iniciación a la investigación educativa

chas otras, a revistas como: Enseñanza de las Ciencias, Alambique, Eureka, Investigación en la Escuela, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Educación Química, Journal of Research in Science Teaching, Science Education, Journal of Chemical Education, Physics education, Ensino de Física, Research in Science and Technological Education, etc. También existen otras publicaciones de gran interés en las que se recopilan distintos trabajos, como son los International Handbook of Education. En cursos de formación, la actividad se puede completar llevando algunos números concretos de distintas revistas para trabajar con ellos.

Una vez seleccionada la bibliografía a analizar, interesa detenerse en cómo podemos optimizar el trabajo que ha de realizarse, con objeto de facilitar su utilización posterior:

*Proponed distintas formas de realizar las anotaciones bibliográficas.*

Se trata de mostrar el interés de los distintos tipos de fichas y anotaciones bibliográficas: desde la simple *referencia* (ved **anexo 1** al final de este tema), a las *citas textuales* que se van ubicando en distintos apartados con intención de utilizarlas cuando convenga en nuestra propia investigación, y las *fichas críticas* y/o de *síntesis* de cada trabajo que se analice. En realidad la actividad es, sobre todo, ocasión para seguir insistiendo en la necesidad de tener presente el aspecto acumulativo de todo trabajo científico.

## 2. LA EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Al igual que en la investigación científica, en la investigación educativa una hipótesis es una conjetura que se realiza sobre un problema planteado previamente, de tal forma que la contrastación de esa hipótesis permita avanzar hacia una respuesta satisfactoria de dicho problema. Las hipótesis avanzan predicciones acerca de lo que se espera encontrar.

*Discutid el papel de las hipótesis en la investigación educativa y los criterios en los que ha de basarse una hipótesis para ser considerada aceptable. En investigación educativa se manejan habitualmente los conceptos de hipótesis interrogativa, declarativa y nula. Considerad el posible significado y utilidad de cada una de ellas.*

En toda investigación educativa ha de haber generalmente, de una forma más o menos explícita, alguna hipótesis. Entre las características que hacen de una hipótesis un elemento de investigación, se hallan las siguientes:

- ✓ Formulación clara y precisa. El uso del lenguaje técnico unívoco es imprescindible.
- ✓ Tiene que ser, de alguna manera, contrastable.
- ✓ Hay que buscar la coherencia con el cuerpo de conocimientos teórico vigente. Es decir, ninguna investigación parte de cero y, por tanto, las hipótesis deben estar teóricamente fundamentadas. No obstante, no siempre es posible una total coherencia. De hecho (al igual que ocurre en otros campos de conocimiento, como la Física o la Química) es más importante la posibilidad de contrastación que la coherencia.
- ✓ Las hipótesis han de poner en relación dos o más variables susceptibles de medirse.



En cuanto a las distintas clases de hipótesis, conviene tener en cuenta:

- ✓ El mayor poder de la forma declarativa sobre la interrogativa, como herramienta para obtener información válida.
- ✓ El carácter de herramienta estadística de la forma negativa o nula. Por ejemplo, si estamos buscando diferencias, la **hipótesis nula** consiste en afirmar que no las hay (o que las que hay están dentro de lo normal, pudiéndose explicar por causas aleatorias). Cuando se encuentra que dichas diferencias existen (y no pueden explicarse por causas aleatorias), se enuncia diciendo que: "Ha quedado falsada la hipótesis nula" o "podemos rechazar la hipótesis nula".
- ✓ La verificación o la falsación de cualquier hipótesis se establece siempre (como veremos más adelante) en términos de probabilidad y no de certeza.

*Analizad un trabajo de investigación didáctica publicado en alguna revista de reconocido prestigio, con el fin de identificar el problema planteado, el propósito de la investigación y la o las hipótesis emitidas.*

Con esta actividad se pretende conseguir utilizar los conocimientos que se van elaborando en este tema, para comenzar a analizar trabajos de investigación ya publicados y aprender a detectar aspectos importantes como los problemas que los han originado o las hipótesis elaboradas. El mismo trabajo se puede utilizar en análisis posteriores sobre la presencia concreta en el mismo de otros aspectos característicos de la investigación didáctica.

### 3. LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES

La contrastación de las hipótesis exige unos diseños experimentales adecuados para ello, ya que la validez de las conclusiones a las que se llegue, viene determinada en gran parte por la calidad y oportunidad de tales diseños.

*Existen básicamente dos "ambientes" en la investigación educativa: el laboratorio y el llamado ambiente de campo. Discutid su significado y, a continuación, las posibles ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.*

El ambiente de *laboratorio* tiene la ventaja de posibilitar un mayor control (entrevistas individualizadas, fijar las variables que nos interesen, etc.), mientras que en el de *campo* dicho control es mucho menor pero, en cambio, dado que se trabaja de una vez con una muestra amplia, sus resultados son más generalizables.

*Una investigación educativa trata, en ocasiones, de producir conocimientos válidos para una cierta "población", mientras que los diseños experimentales implican a grupos de individuos denominados "muestras". Señalad las relaciones entre población y muestra y las características que ésta última ha de poseer.*

Una población suele venir representada por un conjunto de valores. Cuando la población es muy grande (o es complicada la toma de datos), se utiliza en el estudio un subconjunto de la población (muestra). Conviene dejar claro que el concepto de muestra tiene un carácter relativo ya que lo que se considera muestra en un caso, puede ser la población en otro. Por ejemplo, el conjunto de 30 alumnos que cursan la asignatura de

## 12. Iniciación a la investigación educativa

física de segundo de bachillerato en un centro escolar concreto de la ciudad de Valencia, puede ser considerado una población cuando lo único que se pretende es estudiar alguna característica interna de ese grupo (como las calificaciones obtenidas), aunque dicho grupo forma parte de un total más general. Si pretendiésemos extender las conclusiones obtenidas en ese grupo a todos los alumnos que cursan la asignatura de física en centros escolares de la Comunidad Valenciana, dicho grupo sería una muestra y el total de alumnos considerado, la población. Obviamente, para que a partir de las conclusiones obtenidas en una muestra podamos determinar de manera fiable las relativas a la población de la que forma parte, dicha muestra ha de ser lo más representativa posible. De todo ello se ocupa la estadística inferencial (que no vamos a tratar aquí).

En realidad, la validez de una investigación didáctica se apoya más en la coherencia de los resultados obtenidos mediante distintos diseños, que en un único diseño con grandes números. Es importante también, que exista la posibilidad de volver a contrastar varias veces las hipótesis (o sus consecuencias) con otras muestras de la misma población.

*Con objeto de contrastar la validez de un determinado método de enseñanza para cambiar determinadas ideas alternativas, se ha aplicado dicho método a un grupo de alumnos, pasándoles al término del curso un cuestionario para medir la persistencia de tales ideas. Indica los posibles inconvenientes de éste diseño y proponed, en su caso, otros más adecuados.*

Se trata de mostrar aquí lo pobre de dicho diseño y argumentar sobre otros posibles, como sería por ejemplo, pasar antes un pre-test para ver la situación inicial y trabajar con grupos experimentales y de control. Así podría recurrirse a pasar el pre-test en el grupo experimental, realizar el tratamiento y finalmente pasar el post-test. Al mismo tiempo a uno de los grupos control se le pasaría el pre-test, no se le haría tratamiento y finalmente se le pasaría el post-test. Si no hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del pre-test en ambos grupos y en cambio si las hay en los del post-test, cabe suponer que dichas diferencias puedan deberse al tratamiento. El diseño puede completarse recurriendo a un segundo grupo de control (sin tratamiento) al que se pasaría únicamente el post-test. La no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los post-test de ambos grupos de control, podría interpretarse como que el hecho de pasar un pre-test no contamina los resultados obtenidos con el post-test.

Queremos también insistir en la conveniencia de realizar diseños de aborde múltiple. Dichos diseños incluyen distintas vías para contrastar una misma hipótesis. Por ejemplo, no solo utilizando cuestionarios (en donde se pide explicaciones a las respuestas, grado de seguridad, etc.), sino también otros posibles instrumentos como análisis de textos y otras publicaciones, entrevistas, asistencia a clases controlando determinadas variables, análisis de pruebas de evaluación y de trabajos realizados por los alumnos, etc. Esto es particularmente relevante en los trabajos correspondientes a las líneas de investigación didáctica más importantes, en donde puede apreciarse una mayor diversidad de diseños lo cual contribuye, sin duda, a aumentar la validez de los resultados obtenidos.

Otro aspecto importante a destacar es la necesidad de formular adecuadamente las posibles cuestiones a plantear en un diseño dado, ya que con frecuencia es fácil que nos veamos inducidos hacia un determinado tipo de respuesta, según cómo dicha cuestión esté formulada y cuáles sean las otras cuestiones que la acompañan. Para ilustrar este

efecto, se puede recurrir a considerar el efecto que tendría pasar los dos ítems siguientes por separado para su valoración, cada uno a la mitad de un grupo de profesores, o, por el contrario, pasarlos conjuntamente.

-Por su propia naturaleza, el conocimiento científico tiene un valor objetivo y es independiente de creencias políticas o religiosas. Así -por poner un ejemplo- la Ley de la Gravitación Universal ( $F = GMm/r^2$ ), constituye una expresión matemática cuya validez ha sido repetidamente contrastada y que no tiene nada que ver con creencias personales o colectivas.

-Muchos conocimientos científicos han tenido una importante repercusión en la humanidad, no solo a causa de sus posibles aplicaciones técnicas, implicaciones sociales, etc., sino también por su capacidad para cuestionar determinadas ideas que pueden afectar incluso a nuestra visión del mundo. Así, por ejemplo, la Gravitación Universal de Newton vino a romper la supuesta barrera existente entre la física terrestre y la celeste.

El ejemplo puede servir para poner claramente de manifiesto cómo una formulación positiva de una sola cuestión lleva a dar en general respuestas afirmativas (posibilidad de manipular). Tales resultados sugieren que, aunque uno no sea capaz de expresar en poco tiempo una opinión formada sobre un tema concreto, o no se le ocurran demasiadas alternativas, si que sabe distinguir y optar cuando se le presentan con claridad diversas posibilidades (por supuesto formuladas todas ellas positivamente), y que éste es un factor a tener muy en cuenta en el diseño de cuestionarios de opinión.

*Según algunos autores, los resultados que habitualmente se interpretan como expresión de la persistencia de concepciones alternativas en ciencias, serían solo debidos a una estrategia de los alumnos, que contestan para salir del paso. Elaborad un diseño adecuado para contrastar dicha hipótesis.*

Mediante esta actividad se trata de reflexionar sobre un posible diseño para falsar adecuadamente la hipótesis enunciada. Dicho diseño podría incluir: cuestionarios pasados poco después de impartirse los conocimientos correspondientes a las ideas alternativas que se desea estudiar, analizar los resultados de grupos de alumnos a cuyos profesores se les ha advertido previamente sobre el problema de las ideas alternativas en ciencias (pero sin proponerles ninguna estrategia determinada sino, tan solo, que preste atención a esos aspectos), análisis de libros de texto (donde, evidentemente, no se escribe para “salir del paso”), pasar cuestionarios a los mismos profesores, pedir explicaciones y seguridad en las respuestas en cada una de las cuestiones, pedir a los alumnos (o incluso profesores) que corrijan determinadas respuestas en donde deliberadamente se han introducido determinados errores, etc.

#### 4. ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Difícilmente podremos interpretar los datos en una investigación si no somos capaces de organizarlos de modo conveniente. Para ello, en general, se suele recurrir a tablas y gráficos de distinto tipo, como los que, a título de ejemplo, se comentan a continuación

*En la tabla se presentan las calificaciones obtenidas (de 0 a 100) por un grupo de 37 alumnos en una prueba determinada.*

48	54	74	61	38	64	70	55	73	59	39	56	74	68	39	52	53	49	72	60	77	61	63	73	39	46	39	57	65	70	62	73	55	42	72	61	75
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

## 12. Iniciación a la investigación educativa

*Sugerid formas de organizar y presentar dicha información.*

Podemos hacernos una primera visión de conjunto ordenando los datos de menor a mayor, o al revés. La organización en una distribución de frecuencias permite disponer de una primera imagen de los datos obtenidos.

X	38	39	42	46	48	49	52	53	54	55	56	57	59	60	61	62	63	64	65	68	70	72	73	74	75	77
f	1	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	3	2	1	1

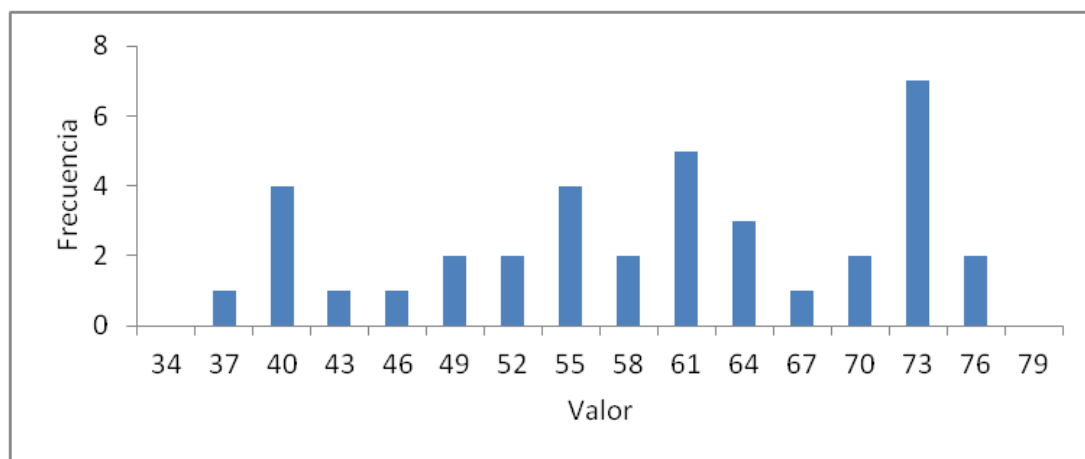
Otra posibilidad es agrupar en intervalos las puntuaciones obtenidas. Si lo hacemos de tres en tres, comenzando por 36, obtenemos la siguiente tabla:

x	36-38	39-41	42-44	45-47	48-50	51-53	54-56	57-59	60-62	63-65	66-68	69-71	72-74	75-77
f	1	4	1	1	2	2	4	2	5	3	1	2	7	2

Las tablas permiten que nos hagamos una primera idea de la distribución de los valores obtenidos, pero las representaciones gráficas facilitan esa visión de conjunto inicial. Las gráficas más comunes son los histogramas.

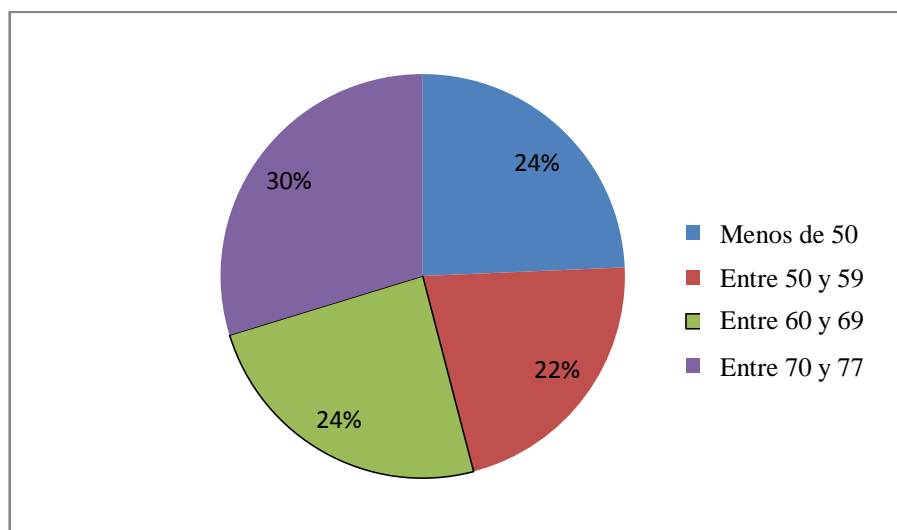
*Elaborad el histograma correspondiente a los datos dados en la tabla anterior.*

Todos los paquetes estadísticos (SPSS, por ejemplo) realizan inmediatamente el histograma con solo introducir los datos. Introduciendo algunos pequeños cambios en el histograma inicial proporcionado por EXCEL obtenemos el siguiente histograma correspondiente a la última tabla:



En la gráfica anterior cada intervalo está representado por su valor central (que no necesariamente ha de coincidir con un valor de la tabla).

Podemos recurrir a muchos otros tipos de representaciones gráficas como, por ejemplo:



En la gráfica anterior es fácil obtener una visión global y rápida de la distribución de las puntuaciones y su peso relativo.

## 5. EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Puesto que estamos interesados en encontrar grandes diferencias, el tratamiento estadístico necesario es relativamente sencillo y se puede introducir (como intentaremos mostrar a continuación) utilizando la misma metodología que en los temas anteriores. Posteriormente, la utilización de herramientas como EXCEL o paquetes informáticos como el SPSS y otros que pueden encontrarse en internet, facilitarán enormemente la tarea al realizar todos los cálculos de modo automático y presentar los resultados de forma prácticamente instantánea, pero antes de "apretar la tecla" conviene entender qué es lo que vamos a hacer y para qué.

### 5.1. Desviación estándar, media aritmética y dispersión de resultados

En muchas investigaciones educativas se manejan datos cualitativos (por ejemplo, presencia o ausencia de un determinado error conceptual); en otras, datos cuantitativos (por ejemplo, calificaciones obtenidas por los alumnos). Un primer aspecto del análisis de los resultados consiste en establecer su fiabilidad. Nos detendremos, en primer lugar, en el caso de los datos cualitativos, poco conocido fuera de las investigaciones de las ciencias sociales:

*El 70% de un grupo de 30 alumnos ha cometido el error de considerar la fuerza como causa del movimiento. En otro grupo de 40 alumnos, la proporción fue del 85% Indicad justificadamente cuál de estos resultados es más fiable, menos atribuible al azar.*

La actividad permite reflexionar sobre la influencia que, en la fiabilidad de un resultado, tiene el tamaño de la muestra por una parte y la proporción de repuestas de un tipo dado que representa dicho resultado por otra. Así no es difícil establecer que cuanto mayor

## 12. Iniciación a la investigación educativa

sea el tamaño (N)<sup>16</sup> y más se aleje el resultado del 50% (por arriba o por abajo), tanto más fiable será dicho resultado (una aleatoriedad máxima correspondería a un 50%).

*Introducid razonadamente -teniendo en cuenta la discusión del ejemplo anterior- una magnitud que sirva para determinar la imprecisión de una proporción.*

Esta actividad es algo más compleja que la que la primera. Para hacer una propuesta aceptable es necesario darse cuenta de que N ha de estar en el denominador y de que el numerador debe ser tal que cuando el porcentaje corresponda al 50 % (máxima aleatoriedad) la magnitud buscada, que llamaremos **error estándar de la proporción**, tome el valor máximo, mientras que cuando el porcentaje sea 0 o bien 100 (mínima aleatoriedad) dicha magnitud alcance su valor mínimo. El error estándar de la proporción lo representaremos mediante el símbolo " $s_p$ ". Para calcularlo podríamos pensar, en principio, en una expresión como:

$$s_p = \frac{p \cdot (100 - p)}{N}. \quad \text{Donde "p" corresponde al resultado expresado en "tanto por cien".}$$

No obstante, la expresión anterior ha de modificarse poniendo una raíz. Una de las razones de hacerlo así es porque siempre resulta más conveniente tener la magnitud  $s_p$  en las mismas unidades que la medida original. De este modo se justifica la expresión del error estándar de una proporción, como:

$$s_p = \sqrt{\frac{p(100 - p)}{N}}$$

El tratamiento de los datos cuantitativos suele ser más familiar:

*Realizad una revisión de la agrupación de datos cuantitativos (medidas de tendencia central y valores indicativos de su imprecisión) y discutid los conceptos de validez y fiabilidad del resultado.*

Supongamos que tenemos una serie de datos (como, por ejemplo, serían las notas de Física de varios grupos de alumnos),  $x_i$  podría representar la nota de un alumno que pertenece a uno de dichos grupos. **La media aritmética** de las notas de uno de esos grupos  $\bar{x}$  representa el "valor típico" de las notas de Física de dicho grupo y corresponde a la nota que resultaría de juntar todas las notas, sumarlas y repartir la cantidad de puntos resultante, de forma equitativa entre todos los alumnos del citado grupo.

Así pues: 
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

O bien, si los valores están agrupados por frecuencias: 
$$\bar{x} = \frac{\sum f_i \cdot x_i}{N}$$

La media aritmética es el parámetro más importante para medir la tendencia central de una serie de valores. Implica una consideración de todos los valores de una distribución y es una idea semejante a la de centro de gravedad en Física. La media aritmética es una

---

<sup>16</sup> En este tema N representa siempre el total de individuos o valores que conforman un grupo dado, independientemente de su tamaño y naturaleza.

forma habitual de resumir un conjunto de datos en un único valor (o valor más representativo) y es la que utilizaremos aquí. El hecho de que todos los valores de una distribución hayan de tenerse en cuenta a la hora de calcular el valor medio, tiene importantes consecuencias ya que si en una serie existen valores extremadamente altos o bajos, éstos tendrán una fuerte influencia sobre la media.

Conviene revisar también cómo la suma de las desviaciones de una serie de valores (respecto del valor medio) es cero y cómo obtener la expresión para calcular "la media de las medias". Respecto de la primera cuestión:

$$\sum (x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + \dots + (x_N - \bar{x}) = (x_1 + x_2 + \dots + x_N) - N \cdot \bar{x} = N \cdot \bar{x} - N \cdot \bar{x} = 0$$

En cuanto a la segunda, si tenemos dos grupos de valores A y B, se cumplirá que:

$$\bar{x}_A = \frac{\sum_1^{N_A} x_i}{N_A} \quad \text{y} \quad \bar{x}_B = \frac{\sum_1^{N_B} x_i}{N_B} \quad \text{La media total será} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_1^N x_i}{N} = \frac{\bar{x}_A \cdot N_A + \bar{x}_B \cdot N_B}{N_A + N_B}$$

Como puede comprobarse, solo en el caso de que  $N_A$  y  $N_B$  fuesen iguales, se cumpliría que la media total del gran grupo, sería igual a la media de los valores medios de los distintos subgrupos de que este consta. Para más conjuntos de valores, tan solo habría que añadir los términos necesarios a la relación anterior. Así para un total de "m" grupos, la media total a partir de las medias de cada grupo se obtendría mediante la expresión general:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_1^m \bar{x}_j \cdot N_j}{N} \quad \text{Donde } N \text{ sería la suma de } N_1 + N_2 + \dots + N_m$$

Otra cuestión interesante es cómo averiguar la desviación de una serie de medidas. Una forma de reflexionar sobre ello, si es necesario, puede ser mediante la siguiente cuestión:

*La nota media de Física del grupo A (de 30 alumnos) es de 5'3 y la del grupo B (del mismo número de alumnos) también. ¿Deben considerarse ambos grupos como equivalentes?*

A	0	2	2	3	5	1	10	10	10	7	9	4	4	2	1	1	7	8	6	0	10	9	8	3	2	7	5	8	4	9
B	4	2	6	5	5	5	6	6	7	4	8	5	5	6	3	5	7	7	6	4	4	6	5	5	7	3	6	6	5	7

La respuesta, claro está, es que no. La simple observación de la tabla anterior parece mostrar que en el grupo B las calificaciones no se hallan tan dispersas como en el grupo A (a pesar de corresponder a ambos la misma nota media). Cabe plantearse pues:

*¿Cómo hallar una magnitud que represente la variación existente en cada clase?*

Lo primero que se nos ocurre es calcular  $\sum (x_i - \bar{x})$ , pero ya hemos dicho que esto da cero. Una solución sería ignorar los signos y calcular la suma de los valores absolutos, con lo que se tendría que para A,  $\sum |x_i - \bar{x}| = 87'6$ , mientras que para B sería solo 33'6. El método, no obstante, tiene el inconveniente de que solo sirve para muestras que ten-

## 12. Iniciación a la investigación educativa

gan el mismo número, ya que si el grupo B fuese más numeroso, el valor de  $\sum |x_i - \bar{x}|$  podría ser mayor de 87'6 impidiendo la comparación. Para solucionar este problema se "normaliza" dividiendo por N, con lo que finalmente llegamos a la expresión de la **desviación media**:

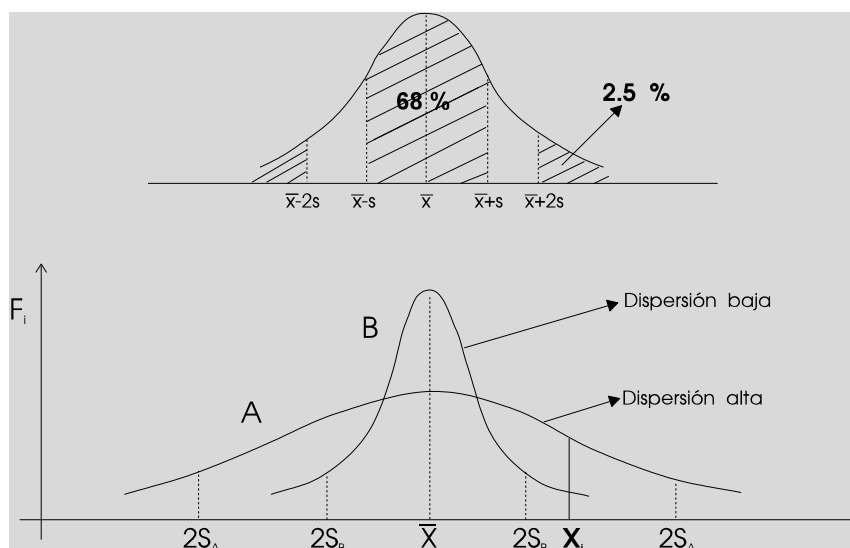
$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{N}$$

Mediante ésta expresión se obtiene para el grupo A una desviación media de 2'9, mientras que la del grupo B resulta ser de solo 1'1. Esto se interpreta diciendo que los alumnos del grupo B tienen un rendimiento más semejante entre sí, que los del grupo A.

Si observamos  $(x_i - \bar{x})$ , vemos que los valores de un conjunto dado, que más peso tienen, son aquellos que más se alejan del valor medio, lo cual es lógico. No obstante, si queremos dar a este hecho más relevancia todavía, así como facilitar determinados cálculos estadísticos que con  $\bar{d}$  serían mucho más complejos, podemos utilizar la **desviación estándar "s"** definida como:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Esta magnitud tiene la propiedad de que, en el caso de distribuciones normales o casi normales (N elevado favorece la "normalidad"), entre  $\bar{x} - s$  y  $\bar{x} + s$  se hallan comprendidos (aproximadamente) el 68% de los valores, y entre  $\bar{x} - 2s$  y  $\bar{x} + 2s$  se hallan comprendidos (aproximadamente) el 95%, tal y como se puede observar en la figura siguiente (arriba):



En la figura anterior (abajo),  $x_i$  tiene, en principio, más mérito en B que en A (siendo la misma nota) ya que en B se halla fuera de la zona  $\bar{x} + 2s$ , lo que no ocurre en A donde esa nota no sería tan destacable respecto de las restantes.



La desviación típica (o estándar) es una medida de la **dispersión** de una serie de valores. Cuanto menor sea su valor tanto más cerca del valor medio se agruparán el resto de los valores.

*Demostrad que la expresión de s para valores cuantitativos, se transforma fácilmente en:*

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2}$$

En efecto:

$$\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N} = \frac{\sum (x_i^2 + \bar{x}^2 - 2x_i\bar{x})}{N} = \frac{\sum x_i^2}{N} + \frac{N \cdot \bar{x}^2}{N} - \frac{2\bar{x} \cdot \sum x_i}{N} = \frac{\sum x_i^2}{N} + \bar{x}^2 - 2\bar{x}^2$$

Por tanto, de  $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$  obtenemos  $s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2}$

Como se habrá podido apreciar, cuanto más pequeña sea la desviación estándar, mayor es la concentración de datos en torno al valor medio de la muestra (menor dispersión). Cuando la muestra considerada tiene pocos valores ( $N < 30$ ), en la expresión de la desviación estándar pondremos  $N-1$  y no  $N$ . No obstante, conviene tener en cuenta que muchos programas informáticos de cálculo trabajan siempre, para esta expresión, con  $N-1$  sea cual sea el valor de  $N$ .

En muchos textos, se reservan las letras latinas  $\bar{x}$  y  $s$  para expresar el valor medio y la desviación típica de una muestra, mientras que para una población, se reservan los símbolos  $\mu$  y  $\sigma$  respectivamente.

## 5.2. Comparación de resultados

En la contrastación de hipótesis juega a menudo un papel esencial la comparación de valores medios y/o proporciones. Esta comparación entre dos valores es, sin embargo, una tarea algo más compleja que la simple lectura de los mismos. Nos detendremos ahora mínimamente en esta cuestión a través de una serie de ejemplos:

### 5.2.1. Comparación de un resultado individual con respecto al grupo al que pertenece.

*Queremos comparar el nivel de un mismo alumno en las asignaturas de Biología y de Física, para ver en cuál "va mejor" con relación al grupo al que pertenece. Proponed una forma objetiva de realizar dicha comparación.*

Una primera respuesta, consistiría en decir que podría calcularse la nota media del grupo al que pertenece el alumno en cuestión, en cada una de las dos asignaturas  $\bar{x}_b$  y  $\bar{x}_f$  para después comparar la nota de dicho alumno con cada una de las medias. En la que mayor fuese la diferencia (por arriba), podría pensarse, en principio, que sería donde mejor iría el alumno.

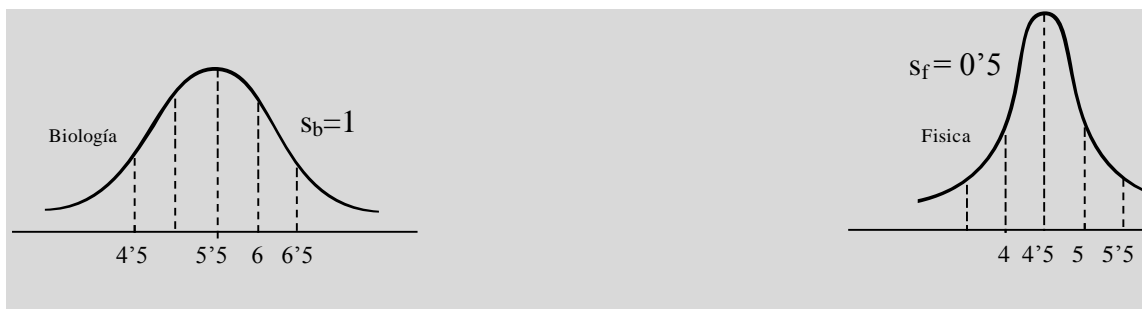
## 12. Iniciación a la investigación educativa

Se trata de una respuesta más elaborada que la que consistiría simplemente en afirmar que "donde más nota hubiese sacado". Sin embargo, todavía no es una respuesta satisfactoria, puesto que, como hemos visto, el peso de una nota que se aleje de la media es relativo, dependiendo de lo dispersos que estén los valores, esto es, del valor de "s", por lo tanto, si queremos comparar adecuadamente las dos notas, es necesario incluir a la desviación típica en nuestro razonamiento. Una forma de hacerlo consiste en "normalizar" dividiendo la diferencia  $d = |x_i - \bar{x}|$  por el valor de s. De esta forma se define una nueva magnitud  $z = d/s$ . Como fácilmente se comprende, z será tanto mayor cuanto mayor sea d y menor sea s, representando así el número de desviaciones que un valor dado se aleja de la media. La ventaja de utilizar z es que se pueden comparar cualquier pareja de valores aunque correspondan a muestras de distinta dispersión (hemos **tipificado**). Aquel valor que le corresponda una z mayor, será el que su diferencia respecto al valor medio, se puede considerar como más destacable.

*Proceded a realizar la comparación anterior, utilizando los siguientes datos:*

$$\bar{x}_b = 5'5; x_b = 6; s_b = 1; \quad \bar{x}_f = 4'5; x_f = 5; s_f = 0'5$$

Al resolver la actividad, suponiendo distribuciones normales, nos encontramos con que para Biología el alumno en cuestión responde al patrón de la clase (zona comprendida entre  $\bar{x} - s$  y  $\bar{x} + s$ , donde se hallan el 68% de los valores). En cambio en Física, se encuentra justo en el límite por arriba del patrón de la clase. Los valores de z correspondientes son  $z_b = 0'5$  y  $z_f = 1$ . Así pues la nota de Física está 1 desviación estándar por arriba de la media mientras que la de Biología (a pesar de ser mayor), solo está media desviación estándar por encima de la media.



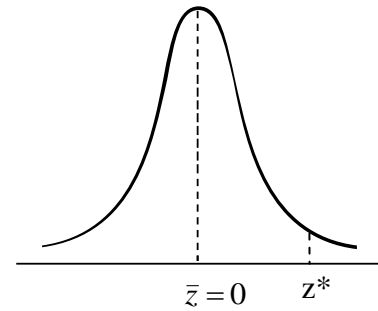
Poniendo cada nota en su contexto vemos que la de Física tiene, en principio, "más mérito" que la de Biología porque comparativamente es más "rara", puesto que solo un 16% de la clase obtiene en Física más de un 5, mientras que en Biología el 50% de la clase obtiene una nota superior a 5.5 y el 16% superior a 6.5.

La tipificación de los valores  $x_i$  en  $z_i$  supone también la tipificación de la campana de Gauss, cuyos valores pueden así tabularse, facilitando enormemente la comparación de valores.

*Exponed razonadamente cómo se agruparán los valores normalizados  $z_i$  correspondientes a una serie de valores  $x_i$  que se agrupan según la típica campana de Gauss. Justificad cuál será el valor de la media  $\bar{z}$  y su desviación estándar.*

Se trata de razonar que cuando los valores (por ejemplo, calificaciones) directos u originales se transforman en valores  $z$ , mediante  $z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s}$ , la forma

de la distribución no se altera. Simplemente, pasamos a medir desde un nuevo origen (la media) y con una nueva escala (cuya unidad es la desviación típica). La curva sería pues como la de la figura adjunta.



En donde, evidentemente,  $\bar{z}$  sería cero. Podemos establecer un valor dado  $z = z^*$  tal que bajo la curva y a la izquierda del mismo se encuentre el 95% de todos los valores considerados. En estas condiciones, si nos dan un valor  $x_i$  al cual le corresponde un  $z_i > z^*$ , podemos afirmar, con un margen de error menor del 5%, que dicho valor no pertenece al conjunto considerado, o lo que es equivalente, podemos rechazar la hipótesis nula de que sí pertenece.

Conviene tener muy en cuenta que, dada la forma de la curva, cualquier valor sería teóricamente posible, por lo que estas afirmaciones se hacen siempre en términos de probabilidad.

Supongamos un valor  $x_i$  al cual le corresponde un  $z_i$  positivo tal que el porcentaje de área bajo la curva a la izquierda de  $z_i$  sea del 97% del área total (que se supone igual a la unidad). Eso significa también que solo un 3% de los valores son superiores a  $x_i$ , o que, con un margen de error del 3%, podríamos decir que  $x_i$  no forma parte del conjunto considerado. Dicho porcentaje se denomina **probabilidad o margen de error**, se simboliza por "p", y se expresa en forma decimal (en el ejemplo sería  $p = 0'03$ ).

En investigación educativa se trabaja con valores límite o frontera de p. Dichos valores límite se representan por el símbolo  $\alpha$  (también llamado **nivel de significación**). El mayor valor aceptado corresponde al límite del 5% (es decir,  $\alpha = 0'05$ ). Los valores de  $z$  se encuentran tabulados (ved tabla de  $z$  en el anexo 6 al final del tema). Para hallar el valor de  $z$  correspondiente a ese  $\alpha = 0'05$  (unidireccional) se busca en la tabla el número 0'45 con lo que vemos  $z^* = 1'645$  (entre 1'64 y 1'65). Todos aquellos valores  $x_i$  a los que correspondan  $z_i$  superiores a 1'645, serían considerados según esto como significativamente diferentes o en otras palabras: podríamos rechazar la hipótesis nula (sí que pertenecen al grupo o conjunto estudiado) con un margen de error (máximo) del 5%.

Si queremos mayor garantía, lo que se hace es establecer unas condiciones más duras y fijar como límite un 5% en total, esto es **bidireccional** (a pesar de que las diferencias se suelen buscar en un solo sentido). Para el valor de porcentaje de área bajo la curva a la derecha del central, de 0'475, encontramos que  $z^* = 1'96$  ( $\alpha = 0'05$  bidireccional). Esto quiere decir que entre  $z = -1'96$  y  $z = +1'96$  se hallan comprendidos el 95% de todos los valores de la serie. Podemos aumentar todavía más el nivel de exigencia, aunque en investigación educativa a partir de  $z > 1'96$ , ya se considera como diferencias estadísticamente significativas. Así para  $\alpha = 0'01 \rightarrow 0'495 \rightarrow z^* = 2'58$  o bien para  $\alpha = 0'001 \rightarrow 0'499 \rightarrow z^* = 3'29$ .

## 12. Iniciación a la investigación educativa

*Un conjunto de valores (por ejemplo, notas de alumnos) tiene una media de  $\bar{x} = 5$  y una desviación estándar de  $s = 0.5$ . Indicad con qué margen de error podemos afirmar que  $x_1 = 6$  y  $x_2 = 8$ , no forman parte del conjunto. Ídem para el caso en que  $s = 2$  y todo lo demás igual.*

Se trata de una simple actividad para manejar los conceptos que acabamos de introducir y que no ofrece mayor dificultad. Su resolución conduce a indicar que, para el caso de  $s = 0.5$ , los valores  $x_1 = 6$  y  $x_2 = 8$ , no forman parte del conjunto (rechazamos la hipótesis nula de que sí forman parte), para  $\alpha = 0.05$  (en el caso de  $x_1$ ) y  $\alpha = 0.001$  (en el caso de  $x_2$ ). No obstante, para  $s = 2$ , no podría rechazarse la hipótesis nula ya que en ese caso el margen de error sería superior al 5% para ambos valores.

La tabla de z, funciona bien (como ya se indicó) para grandes distribuciones (distribuciones normales o gaussianas). Como esto no siempre ocurre, se ha hecho el cálculo para condiciones más extremas, que tengan en cuenta, por ejemplo, el tamaño de la muestra, es decir que le den un mayor peso a N (N elevado es un factor que favorece la gaussiana). De esta forma se puede justificar **la "t" de Student** como un nuevo parámetro cuyo valor coincide con z si N es muy grande, pero que tiene la ventaja de que puede utilizarse aunque la distribución no sea típicamente gaussiana y los números manejados no sean muy grandes. (En investigación educativa se pueden considerar números grandes a partir de 30 o 40, y el valor de t coincide prácticamente con el de Z a partir de N = 200).

Trataremos ahora de explicar la **Tabla de t** (ved anexo 6 al final del tema) y cómo se calcula el valor de **t\***. Uno de los conceptos que se manejan en dicha tabla es el de **grados de libertad**, definido como **gl = N-1**, y relacionado, evidentemente, con el tamaño de la muestra. Se refiere al hecho de que cuando para cada uno de los N valores observados se calcula su desviación respecto al valor medio, el valor N-simo viene automáticamente determinado una vez que los restantes adquieren los valores fijos observados ya que, como hemos visto, la suma de todas las desviaciones ha de valer cero. Esto se traduce diciendo que, cada vez que se elige una muestra, solo N-1 valores tienen la posibilidad de variar libremente.

El valor de t se calcula igual que el de Z, como:

$$t = \frac{(x - \bar{x})}{s}$$

Conocido el valor de t, se compara con valor "crítico" **t\*** de la tabla (obtenido para N-1 gl y  $\alpha = 0.05$ ), y si el valor de t calculado es mayor que el de la tabla, concluiremos que la diferencia es estadísticamente significativa (con un margen de error del 5 %).

*Supongamos un grupo de  $N = 25$  con  $\bar{x} = 20$  y  $s = 5$ . ¿Puede considerarse que  $x_i = 30$ , forma parte de este grupo?*

Si calculamos t resulta ser 2, mientras que para 24 gl y  $\alpha = 0.05$  la  $t^* = 2.06$ , como t es menor que  $t^*$  concluimos que la diferencia no es estadísticamente significativa o lo que es lo mismo: con un margen de error del 5% no podemos afirmar que  $x_i = 30$ , **no forma parte del grupo**.

*Repetid el ejercicio anterior para un  $x_i = 33$  y  $\alpha = 0'01$  (todo lo demás igual).*

En este caso resulta que  $t = 2'6$  y que  $t^*$  es de  $2'8$ . Por tanto podría decirse que la diferencia no es estadísticamente significativa si pusiera como tope  $\alpha = 0'01$  pero sí que lo es para  $\alpha = 0'05$ .

### 5.2.2. Comparación de dos muestras independientes

Hasta ahora hemos visto cómo podemos decidir si un valor determinado puede o no considerarse como significativamente diferente del conjunto al que pertenece, pero la mayoría de las veces no estamos interesados en ver lo que le pasa a un único sujeto, sino en comparar grupos **independientes** de valores. Comenzaremos analizando el caso de dos muestras **dicotómicas**, es decir cuando se comparan a través de dos resultados (cada uno representativo de una muestra o conjunto de valores dado).

Supongamos que de una población dada (conjunto de valores) extraemos un número muy grande de muestras y aleatoriamente las distribuimos por pares, calculando en cada caso la diferencia entre las medias de cada pareja de muestras (restando siempre en el mismo orden), que en unos casos será positiva y en otros negativa o incluso nula. Dado que el número de parejas formado es muy grande y que se trata de la misma población, podemos suponer que dichas diferencias se agruparán según una distribución normal análoga a la vista anteriormente para el caso de la media de una serie de valores, solo que en este caso, la media de las diferencias será 0, dado que las positivas se anularán con las negativas. También podemos hablar de una desviación estándar de dichas diferencias ( $s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$ ), de forma que cuanto mayor sea su valor menos agrupadas (o más dispersas) estarán las diferencias del valor medio de todas ellas (que, como sabemos, es 0).

*Indicad de qué dependerá que la diferencia entre los valores medios de dos muestras distintas pueda ser considerada como perteneciente o no a la población de diferencias cuya media es cero.*

Podemos proceder de forma análoga a como ya hicimos anteriormente y calcular cuántas desviaciones se aleja esa diferencia de la media de las diferencias (0). Cuanto más alejada se halle, con menos margen de error podremos afirmar que las muestras difieren más que cuando las diferencias son puramente aleatorias, lo que es equivalente a afirmar que las muestras pueden considerarse como pertenecientes a poblaciones distintas, con distinta media.

Para calcularlo, basta con determinar la puntuación típica (z o t de Student) correspondiente que, en este caso, vendrá dada por:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - 0}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \rightarrow \boxed{t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}}$$

y proceder con los mismos criterios que anteriormente en cuanto a probabilidad o margen de error y nivel de significación.

## 12. Iniciación a la investigación educativa

En la expresión anterior, la desviación estándar de la población de diferencias con media cero puede estimarse a partir de las desviaciones estándar de las muestras y varía dependiendo de diversos factores (como, por ejemplo, el tamaño de las muestras). No, obstante, en esta primera aproximación, utilizaremos la expresión simplificada:

$$s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}} \quad \text{con lo que resulta} \quad t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}$$

La expresión anterior se utiliza para el caso de valores cuantitativos. En el caso de proporciones (o porcentajes), la expresión es bastante similar:

$$t = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\frac{p_1 \cdot (100 - p_1)}{N_1} + \frac{p_2 \cdot (100 - p_2)}{N_2}}}$$

Finalmente, los grados de libertad (gl) se calculan en ambos casos como  $gl = N_1 + N_2 - 2$ . Esto es así porque se suman los grados de libertad de cada una de las muestras  $(N_1 - 1) + (N_2 - 1)$ .

Conviene insistir en que se trata de expresiones aproximadas y que, en los programas informáticos al uso (calculadores on-line y paquetes estadísticos) se suelen utilizar otras mucho más rigurosas de forma rutinaria.

*Supongamos dos grupos de 40 alumnos cada uno. En el grupo A la nota media de Biología ha sido 7 y en el B de 6. En ambos la desviación estándar es de 1. ¿Pensáis que ambos podrían ser considerados como pertenecientes a una misma población? Procede a comprobarlo.*

*En un grupo de 106 alumnos (grupo A) el 77'4 % cometen un determinado error conceptual. En otro grupo (B) de 38 alumnos cometen el mismo error el 84'2 %. Razonad si los dos resultados pueden considerarse o no como significativamente distintos.*

En la primera de las dos actividades anteriores, puede destacarse la gran influencia que tiene una diferencia de solo un punto en una nota media, lo que hace que los resultados puedan en este caso considerarse como significativamente distintos (incluso, cuando ponemos como tope  $\alpha = 0'01$  con  $t^* = 2'65$  frente a  $t$  calculado de 4'47). La explicación es que pasar una nota media de 6 a 7 supone, en general, subir mucho la nota a bastantes individuos. Puesto que la  $t$  calculada es superior a la  $t$  de la tabla, debemos rechazar la hipótesis nula y, por tanto, podemos afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de Biología de ambos grupos, con un margen de error del 1%.

Otra alternativa consiste en comparar el margen de error ( $p$ ) asociado al valor de  $t$  obtenido, con el valor de  $\alpha$  escogido. Siempre que  $p < \alpha$  diremos que la diferencia que estamos analizando es estadísticamente significativa. Los programas informáticos de cálculo, suelen dar dicho valor de  $p$  de forma automática con lo que, en esos casos, resultan innecesarias las tablas. Así en este ejemplo, se obtendría un valor de  $p$  inferior a 0'0001 (muy inferior al valor límite dado por  $\alpha = 0'05$ ), por lo que la diferencia es extremadamente significativa.

En la segunda, se trata de valores cualitativos y se obtiene una  $t_d$  de 0'95 que para 142 gl (en realidad se toma 125 ya que cuando un valor de gl no se encuentra en la tabla, se toma el inmediato inferior) y  $\alpha = 0'05$  sale menor que  $t^* = 1'98$ , de modo que no podemos rechazar la hipótesis nula y, por tanto, los resultados no serán considerados como significativamente distintos. Las diferencias observadas pueden explicarse por el azar, con un margen de error del 5%.

**Para el caso de los valores cualitativos** existe un procedimiento alternativo de comparación, mediante la utilización de un nuevo parámetro conocido con el nombre de "**Ji cuadrado**" ( $\chi^2$ ). Para introducirlo, vamos a utilizar de nuevo uno de los ejemplos anteriores.

*En dos grupos de alumnos se ha medido la presencia de un determinado error conceptual con los siguientes resultados:*

	cometen el error	no lo cometen	totales
Grupo A	82	24	106
Grupo B	32	6	38
totales	114	30	144

*a) Si los grupos A y B se hubieran comportado de forma idéntica, indicad un procedimiento para obtener el número teórico de alumnos de cada grupo que hubieran cometido error o no. A continuación realizad dicho cálculo.*

*b) A partir de los valores teóricos obtenidos y de los reales (que se han presentado en la tabla), concebid un procedimiento para medir la mayor o menor importancia de las diferencias.*

Para comenzar, hemos de señalar que si los resultados de ambos grupos fuesen equiparables se debería de cumplir que:

$$144/114 = 106/T_{1a}; \quad 144/114 = 38/T_{1b}; \quad 144/30 = 106/T_{2a}; \quad 144/30 = 38/T_{2b}$$

Donde  $T_{1a}$ ,  $T_{1b}$ , etc., serían los valores teóricos esperados si no hubiese diferencias estadísticamente significativas entre A y B.

Como es lógico, cuanto mayores sean las diferencias entre los valores reales y sus correspondientes teóricos (que pueden calcularse fácilmente mediante las proporciones anteriores), menos equiparables serán ambos grupos. Sin embargo unas diferencias serán positivas y otras negativas, de modo que lo que se hace es elevar al cuadrado y sumarlas todas. Además con objeto de "normalizar" los resultados teniendo en cuenta los distintos valores que puede tomar  $T$ , se divide por la  $T$  correspondiente en cada caso. De este modo se calcula el coeficiente  $\chi^2$  para este caso como:

## 12. Iniciación a la investigación educativa

$$\chi^2 = (82-T_{1a})^2/T_{1a} + (32-T_{2a})^2/T_{2a} + (24-T_{1b})^2/T_{1b} + (6-T_{2b})^2/T_{2b} = 0,8$$

En general: 
$$\chi^2 = \sum \frac{(T_r - T_e)^2}{T_e}$$

En la expresión anterior,  $T_r$  es la frecuencia de la tabla de contingencia (o frecuencia real), y  $T_e$  la frecuencia teórica esperada si ambos grupos fuesen equiparables.

Los valores de  $\chi^2$  se encuentran tabulados (**Tabla de Ji cuadrado**). Los grados de libertad se calculan como:  $gl = (f-1) \cdot (c-1)$ , donde  $f$  es el número de filas y  $c$  el de columnas. En este caso como la tabla es de "dos por dos", el número de  $gl$  será 1. La razón es muy simple: una vez conocida una frecuencia teórica esperada de un grupo (por ejemplo  $T_{1a}$ ), la otra ( $T_{2a}$ ) queda automáticamente determinada ya que la suma de ambas debe dar el número total (en este caso 106). En otras palabras: solo una de las frecuencias esperadas de cada grupo, es susceptible de libre variación. En una tabla de mayores dimensiones, todas las frecuencias esperadas ( $T_e$ ) menos una de cada fila o columna, pueden variar libremente; una vez especificadas, la última queda fijada, así en una tabla "cuatro por tres" como la de la figura, los  $gl$  serían 6.

	1	2	3	
1				→ De libre variación
2				
3				→ Fijo
4				

Volviendo a la actividad planteada, utilizando la tabla de  $\chi^2$  del final del tema, vemos que para 1  $gl$  (dos filas y dos columnas) y  $\alpha = 0,05$ , el valor crítico de  $\chi^2$  es de 3,8, por lo tanto, cabe concluir que las diferencias no pueden considerarse como estadísticamente significativas. También es posible utilizar un programa de cálculo informático (de forma análoga a como ya indicamos para  $t$ ), en cuyo caso obtenemos  $p=0,37$  (mucho mayor que  $\alpha=0,05$ ), por lo que las diferencias no son estadísticamente significativas.

Si todas las muestras (valores cualitativos) fueran dicotómicas, bastaría con utilizar  $t_d$ . Sin embargo ello no siempre es así. El método de Ji cuadrado tiene muchas aplicaciones en comparación de resultados cualitativos de conjuntos independientes de valores ya que puede utilizarse también en muestras no dicotómicas, como se propone en la actividad siguiente:

*En una clase de 35 alumnos y para la asignatura de Física. En la primera evaluación, 5 obtuvieron una calificación de muy deficiente, 5 de insuficiente, 10 de suficiente, 5 de bien, 5 de notable y 5 de sobresaliente. En otra clase de 48 alumnos, los resultados fueron 4 muy deficiente, 15 insuficiente, 14 suficiente, 8 bien, 5 notable, y 2 sobresaliente. Utilizad el método de Ji cuadrado para ver si los resultados de ambos grupos difieren significativamente.*

Rdo. Para 5  $gl$  (dos filas y seis columnas) y  $\alpha = 0,05$ , valor crítico  $\chi^2 = 11,07$ , mayor que el obtenido (5,9). Por tanto, no podemos rechazar la hipótesis nula y las diferencias entre ambos grupos no pueden considerarse como estadísticamente significativas.



La actividad anterior es posible resolverla también sin utilizar ninguna tabla. Basta, por ejemplo, con acceder desde un buscador a una calculadora "on line" adecuada e introducir los datos. De esta forma se obtiene fácilmente para  $\chi^2$  un valor de 5'863 y un valor para p de 0'32, muy superior al valor límite máximo permitido ( $\alpha = 0'05$ ), por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

Para terminar, hemos de indicar que esta prueba ha de utilizarse siempre para comparar muestras independientes y mejor en muestras grandes (N no muy inferior a 40). En muchos textos se recomienda también que los valores de las frecuencias teóricas o esperadas no sean inferiores a 5.

### 5.2.3. Comparación de dos muestras relacionadas

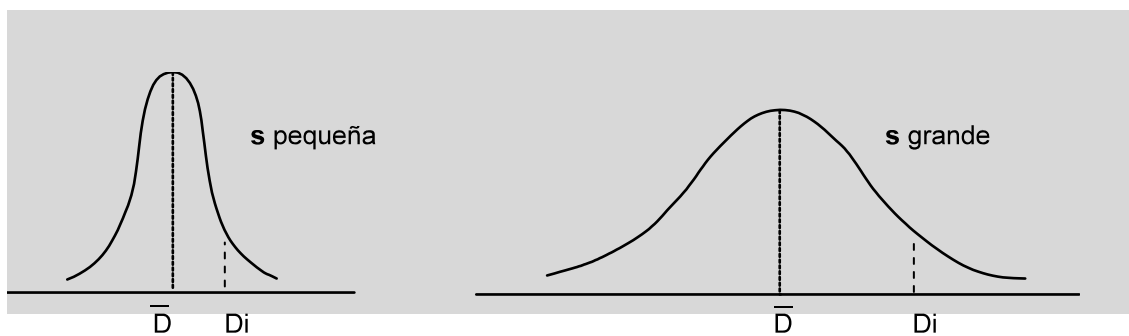
Hasta aquí hemos considerado la comparación de valores (cualitativos y cuantitativos) correspondientes a grupos independientes. En ocasiones, sin embargo, hay que comparar los resultados correspondientes a grupos **apareados**, como sería el caso de los obtenidos por un mismo grupo de individuos antes y después de un determinado tratamiento. En esta situación, es posible estudiar **las variaciones experimentadas por cada individuo**, lo que conduce a unos cálculos estadísticos más exigentes. Veamos un ejemplo:

*Un conjunto de alumnos ha recibido durante un trimestre un determinado tratamiento en una asignatura y se desea saber si las diferencias entre las calificaciones obtenidas antes y después del tratamiento son estadísticamente significativas. Indicad un posible procedimiento que tenga en cuenta las diferencias individuales.*

La diferencia será tanto más significativa cuanto mayor sea la diferencia entre los valores medios después y antes del tratamiento:  $(\bar{y} - \bar{x})$ . También dependerá del valor de la desviación estándar de las diferencias  $D_i = (y_i - x_i)$ , calculado como se indica a la derecha de este párrafo.

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{N}}$$

Como se ve en la figura, siguiente, si s es muy grande quiere decir que las diferencias serán muy variadas, estarán muy dispersas y por lo tanto el resultado obtenido será menos fiable estadísticamente.



## 12. Iniciación a la investigación educativa

La t-Student viene dada en este caso por:  $t_d = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{\frac{s_d^2}{N}}}$  o bien:  $t_d = \frac{\bar{D}}{\sqrt{\frac{s_d^2}{N}}}$  ya que:

$$\bar{D} = \frac{(y_1 - x_1) + (y_2 - x_2) + \dots + (y_N - x_N)}{N} = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_N)}{N} - \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_N)}{N} = \bar{y} - \bar{x}$$

Para que pueda rechazarse la hipótesis nula o  $H_0$  según la cual las diferencias son debidas al azar (es decir, no son estadísticamente significativas), hemos de comparar el valor de t calculado con el de la tabla para N-1 grados de libertad y el margen de error escogido. Si el t calculado supera al de la tabla (valor crítico t\*) podemos rechazar la hipótesis nula (según la cual las diferencias observadas son debidas al azar). También es posible utilizar un programa informático adecuado y ver si el valor de p correspondiente es menor o mayor que el valor de  $\alpha$  escogido para rechazar o aceptar respectivamente la hipótesis nula.

**Para el caso de proporciones (valores cualitativos) correspondientes a grupos apareados**, se puede utilizar una variante del método de Ji cuadrado, conocida como **prueba de McNemar**. A continuación se propone un ejemplo de este tipo.

*Los alumnos que han cometido cierto error conceptual antes y después de un determinado tratamiento han sido agrupados del siguiente modo:*

		Después del tratamiento	
		No cometen el error	Sí cometen el error
Antes del tratamiento	Si cometen el error	$N_1$	$N_2$
	No cometen el error	$N_3$	$N_4$

*Concebid una magnitud que indique en qué medida los resultados son significativamente mejores después del tratamiento.*

Un análisis cuidadoso de los datos proporcionados en la actividad, conduce a señalar que  $N_1$  representa la **mejora neta**, es decir el número total de alumnos que habiendo cometido error antes del tratamiento, no lo cometen después de éste. Mientras que  $N_4$  representa el **empeoramiento neto**, o número de alumnos que no cometieron el error antes del tratamiento pero sí después. Lo que nos interesa es que  $N_1$  sea lo mayor posible y que  $N_4$  sea lo menor posible, o lo que es lo mismo, que  $N_1 - N_4$  sea muy grande. De esta forma puede justificarse la expresión:

$$x^2 = \frac{(N_1 - N_4)^2}{(N_1 + N_4)}$$

en donde el numerador está elevado al cuadrado para que podamos usar la misma tabla de Ji cuadrado y dividimos por el denominador (total de alumnos que han variado), para tipificar. Los gl en las tablas de 2 x 2, serán de 1.

Como se puede ver el cambio solo se analiza en los sujetos que respondieron de forma diferente antes y después del tratamiento. Los que no variaron y mantuvieron el error (o el acierto), no interesan, por eso en la fórmula no aparecen ni  $N_2$  ni  $N_3$ .

Conviene tener presente que esta prueba precisa para aplicarse correctamente que el valor del denominador de la expresión anterior sea mayor que 10. Si no lo es, pero se halla comprendido entre 5 y 10, es necesario introducir una corrección que consiste en restar una unidad antes de elevar al cuadrado la diferencia  $N_1 - N_4$ , con lo que la fórmula quedaría como:

$$x_c^2 = \frac{(|N_1 - N_4| - 1)^2}{(N_1 + N_4)}$$

Hemos podido comprobar que dicha corrección se hace de forma rutinaria en la mayoría de los programas de ordenador, imponiendo así unas condiciones más restrictivas, con lo que podría darse el caso de no rechazar una hipótesis nula aunque, legítimamente, pudiera hacerse.

*Un profesor diseña una prueba para averiguar el grado de interés de sus 30 alumnos por la asignatura que imparte y pasa dicha prueba al comienzo de curso y a final de curso. El resultado de la prueba se refleja en una nota comprendida entre 0 (interés nulo) y 10 (interés máximo). Los datos obtenidos fueron agrupados de la siguiente forma:*

		Final de curso	
		Interés mayor de 5	Interés menor de 5
Comienzo de curso	Interés menor de 5	12	7
	Interés mayor de 5	8	3

*¿Podemos considerar que varió el interés de forma estadísticamente significativa?*

En este caso, la mejora neta (alumnos que pasan de un interés inicial menor de 5 a un interés final mayor de 5 fue  $N_1 = 12$ , mientras que el empeoramiento neto (alumnos que pasaron de un interés inicial mayor de 5 a interés final menor de 5, fue  $N_4 = 3$ . Como la suma  $N_1 + N_4$  es mayor de 10, aplicamos la expresión normal:

$$x^2 = \frac{(N_1 - N_4)^2}{(N_1 + N_4)} = \frac{(12 - 3)^2}{12 + 3} = \frac{81}{15} = 5.4$$

## 12. Iniciación a la investigación educativa

Para 1 gl y  $\alpha = 0'05$ , vemos en la tabla que el valor crítico es de 3'84, por tanto podemos rechazar la hipótesis nula según la cual el interés de los alumnos por la asignatura no habría variado sustancialmente y las diferencias observadas se deberían al azar.

Sin embargo, utilizando una calculadora "on line" podemos obtener  $\chi^2 = 4'27$  y  $p = 0'039$ . Aunque la conclusión sería la misma (dado que  $p$  es menor que el valor límite escogido dado por  $\alpha=0'05$ ), la diferencia se debe a que el programa informático utiliza (innecesariamente en este caso) la expresión corregida de la fórmula (cómo se puede comprobar fácilmente).

### 5.3. Grado de correlación entre dos variables

Hasta aquí hemos tratado de problemas que implicaban una sola variable (calificaciones, porcentajes, etc.) y de la comparación de dicha variable en diferentes muestras. Pero frecuentemente los problemas se centran en la relación existente entre dos o más variables (rendimiento académico del alumno/nivel de renta familiar; actitudes hacia la ciencia/sexo; habilidad matemática/rendimiento en Física, concepciones del profesor sobre la naturaleza de la ciencia/características de las prácticas de laboratorio que plantea, metodología de enseñanza/interés del alumno por la materia, etc.).

Un primer paso para ver si existe alguna relación entre dos variables, es el usual procedimiento gráfico ("scatter diagram"). Pero descontando el caso de una perfecta correlación, se plantea la cuestión de averiguar la **intensidad** de dicha relación. La solución de este problema ha conducido a la elaboración de coeficientes que midan el grado de correlación. Uno de los más utilizados es el de **Pearson**, el cual trataremos de introducir a continuación.

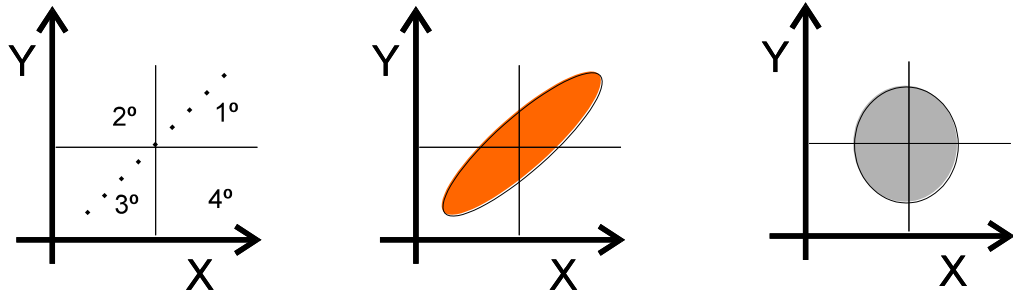
#### 5.3.1. Coeficiente de correlación de Pearson

Como punto de partida, podemos pensar en una correlación como una medida del grado en que las variaciones de una de las variables están relacionadas con variaciones en la otra.

Para poder visualizar la intensidad con que dos variables están relacionadas, se puede proceder a dibujar cualitativamente a título de hipótesis, los diagramas de dispersión correspondientes a unos cuantos casos típicos como por ejemplo: el nivel cultural de los padres (X) frente al cociente intelectual del niño (Y), la actitud positiva hacia la ciencia (X) frente al rendimiento académico en Física (Y) y finalmente la altura de los alumnos de 16 años (X) frente al número de suspensos a final de curso (Y).

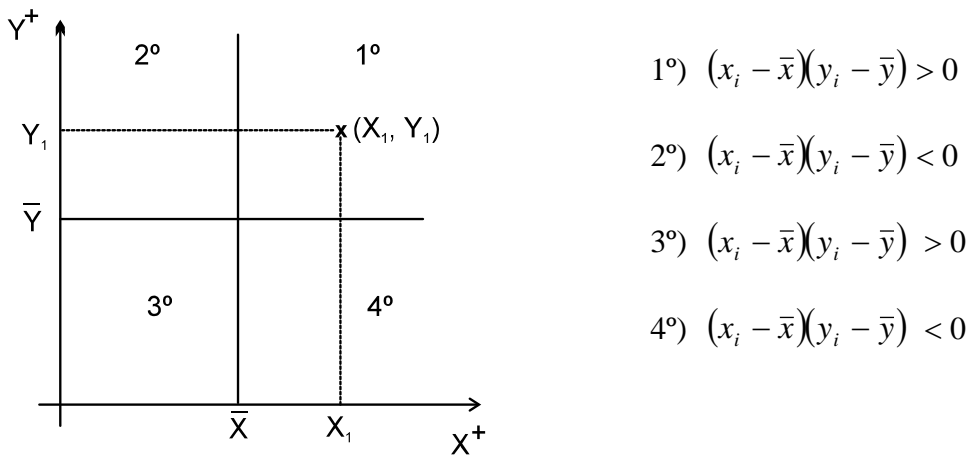
*Inventad un parámetro que mida hasta qué punto las variaciones de una magnitud  $x$  (cuyos valores  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , tienen un valor medio  $\bar{x}$ ) se acompañan de variaciones en la otra  $y$  (cuyos valores  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , tienen un valor medio  $\bar{y}$ ). Ha de tratarse de una magnitud tal, que valores altos de la misma supongan una elevada correlación entre  $x$  e  $y$ , y que cuando no haya ninguna correlación, dicha magnitud valga cero. Conviene ayudarse de los diagramas necesarios.*

Para resolver la actividad correctamente, es mejor dibujar primero algunos de los diagramas X-Y en donde se muestren las diversas relaciones posibles:



Los diagramas anteriores van desde una perfecta correlación positiva o negativa (que ocurren muy raramente), hasta ninguna correlación en absoluto en la que a valores bajos de X pueden corresponder con la misma probabilidad valores bajos o altos de Y. En todos los casos hemos señalado el punto correspondiente a los valores medios  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ .

Si existe una alta correlación positiva, deberá cumplirse para cada pareja de valores que podamos tomar, que a una gran diferencia  $(x_i - \bar{x})$  le corresponda también una gran diferencia  $(y_i - \bar{y})$ . Por otra parte, si multiplicamos estas diferencias entre sí, dada la forma del diagrama, podemos observar que en la perfecta correlación positiva, solo tendremos productos positivos. Cuando se trate de una alta correlación positiva, habrá algunos productos (los correspondientes al segundo y cuarto cuadrantes) que serán negativos, aunque su valor absoluto será tanto menor cuanto más intensa sea la correlación. Análogos razonamientos pueden hacerse para los restantes diagramas, de modo que al final quede claro que si sumáramos todos los productos en cada caso:  $\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$ , el mayor valor positivo correspondería a la perfecta correlación positiva (simétricamente a la negativa) y el valor cero, correspondería a la correlación nula. La figura siguiente ayuda a visualizar los razonamientos anteriores:



Naturalmente para poder comparar, es preciso normalizar dividiendo por N, ya que de otra forma, el grado de relación dependería del número de observaciones efectuadas. Así pues, podemos definir la nueva magnitud, que llamaremos **covarianza** como:

$$Cov = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{N}$$

## 12. Iniciación a la investigación educativa

Dibujad el diagrama y calculad la covarianza correspondiente para cada una de las siguientes parejas de variables  $X$  e  $Y$ ;  $Z$  y  $V$ ;  $S$  y  $T$ , cuyos valores son:

$X$	1	2	3	4	5
$Y$	1	3	2	5	4

$Z$	1	2	3	4	5
$V$	-2	-1	0	1	2

$S$	1	2	3	4	5
$T$	4	-1	2	-2	1

La magnitud denominada covarianza, que acabamos de introducir para medir la existencia de relación entre dos magnitudes, presenta algunos inconvenientes, ya que su valor puede ser difícil de interpretar:

Dicho valor depende de las unidades utilizadas en la medida de las variables.

La covarianza no tiene valores límites, altos o bajos, que nos puedan indicar si un resultado como  $Cov = +1,6$ , denota una fuerte o débil correlación entre  $X$  e  $Y$ .

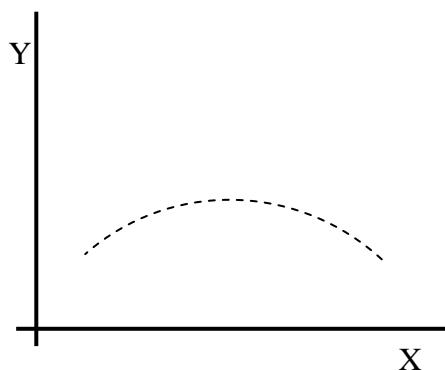
Se hace pues necesario solucionar dichos inconvenientes. Para ello se ha elaborado una nueva magnitud modificando la expresión de la  $Cov$ , de modo que dicha magnitud oscile entre unos valores límites precisos y bien conocidos (+1 para una perfecta correlación positiva y -1 para una perfecta correlación negativa).

*Partiendo de la forma de la covarianza y a título de hipótesis ¿Por qué magnitudes ya conocidas convendría dividirla para que el cociente tuviera como máximo el valor +1 o -1?*

Se trata de sugerir, a modo de hipótesis, la expresión del coeficiente de correlación de Pearson, que tiene todas las características deseables de la covarianza, pero no presenta los inconvenientes reseñados. La expresión es:

$$r = \frac{Cov}{s_x \cdot s_y}$$

Conviene también interpretar correctamente dicho coeficiente advirtiendo en contra de posibles errores en su utilización. Una primera cuestión a resaltar es que  $r$  mide la intensidad de una relación **lineal**, es decir, su valor depende del grado en que los datos se aproximen a una línea recta. El problema es que en ocasiones puede haber una fuerte relación entre los datos, **pero no ser lineal**, como ocurre en la figura siguiente, donde se ha representado un caso extremo, en el que a pesar de que existe una fuerte correlación, la covarianza (y por tanto  $r$ ), serían muy pequeños o cero. Es pues conveniente que **antes** de decidir calcular el coeficiente  $r$ , se dibuje el diagrama de dispersión para ver si razonablemente se puede pensar que la relación se aproxima a una línea recta.



Otra cuestión se refiere a la causalidad. El coeficiente de correlación no permite determinar **la causa** de la relación. En este sentido puede ser ilustrativo poner el clásico ejemplo de las cigüeñas que nidifican en una ciudad y el número de nacimientos, ambas cosas están correlacionadas positivamente porque a mayor número de cigüeñas, más tejados, más casas, más nacimientos, y no porque las cigüeñas traigan a los niños. Algo similar podríamos afirmar respecto a la venta de bebidas alcohólicas frente al número de profesores de ciencias, etc.

Una idea errónea muy común es pensar que existe una correlación lineal **entre los valores de  $r$  obtenidos**. Es preciso puntualizar que, por ejemplo, un valor de  $r = 0'6$  indica una correlación lineal mucho más fuerte que  $r = 0'3$ , pero no justamente **el doble** de fuerte. Del mismo modo, también es incorrecto afirmar que la diferencia entre  $r = 0'1$  y  $r = 0'2$  es la misma que entre  $r = 0'8$  y  $r = 0'9$ .

Para contrastar la significación estadística de un valor dado de  $r$ , se compara éste con el que se obtiene de la tabla para  $N-2$  gl siendo  $N$  el número de pares de valores. Si el valor absoluto del  $r$  calculado, es mayor que el de la tabla  $r^*$ , se concluye que la correlación observada no se debe a un error muestral (con el nivel de significación que se considere).

*Hallar el coeficiente correlación de Pearson para las magnitudes de la penúltima de las actividades realizadas.*

Aunque solo 5 pares de valores no son suficientes en un experimento real para obtener una conclusión útil, si que nos permiten aquí ejercitarnos en el cálculo de este coeficiente. Los resultados son, respectivamente:  $0'8$ ;  $1$  y  $-0'46$

### 5.3.2. Relación entre dos variables dicotómicas: Coeficiente de correlación $\phi$

Para variables dicotómicas (como puede ser la presencia o ausencia de un determinado error conceptual, la intención de seguir o no estudios científicos, etc.), se puede obtener un coeficiente derivado del de Pearson (denominado coeficiente **Phi**), sin más que atribuir 0 y 1 a los valores de la magnitud.

Se trata de un coeficiente para medir la intensidad de la relación entre dos variables dicotómicas. Existen numerosos casos en donde intervienen este tipo de variables. El ejemplo que vamos a utilizar aquí se refiere a la titulación académica **X** de los cónyuges (superior o no) de una familia, frente al tipo de estudios **Y** seguidos por el hijo mayor de ambos (universitarios o no).

Una forma de obtener la expresión para calcular  $\phi$ , es deducirla a partir del coeficiente de correlación de Pearson. Para ello hay que calificar arbitrariamente cada una de las dos categorías posibles presentes en cada dicotomía como 0 o 1. De acuerdo con ello obtendríamos la siguiente *tabla de contingencia*:

## 12. Iniciación a la investigación educativa

		X		
		1	0	
Y	1	a	b	a+b
	0	c	d	c+d
Total		a+c	b+d	

X = Titulación de los cónyuges. (1 = Al menos uno de ellos, superior; 0 = Ninguno superior)

Y = Tipo de estudios seguidos por el hijo mayor. (1 = Universitarios, 0 = No universitarios).

Según la tabla anterior, de los alumnos universitarios, **a** representa el número de éstos cuyo padre, madre (o ambos), tiene titulación superior y **b** los que ni su padre ni su madre tienen titulación superior. Análogamente, de los alumnos no universitarios, **c** tienen un padre, madre (o ambos) con titulación superior y **d** no.

Estamos interesados en averiguar la intensidad de la relación existente entre la titulación académica de los padres y el tipo de estudios seguido por el hijo mayor. Para ello vamos a partir del coeficiente de correlación de Pearson ya conocido, pero expresado en la forma dada en la ecuación (1) siguiente:

$$r = \frac{\frac{1}{N} (\sum x_i y_i) - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2\right) \cdot \left(\frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2\right)}} \quad (1)$$

La expresión (1) puede obtenerse de  $r = \text{cov}/(s_x \cdot s_y)$ , sustituyendo  $s_x$  y  $s_y$  y teniendo en cuenta:

$$\begin{aligned} \text{cov} &= \frac{1}{N} \cdot \sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) = \frac{1}{N} \cdot \sum (x_i y_i - y_i \bar{x} - x_i \bar{y} + \bar{x}\bar{y}) = \\ &= \frac{\sum x_i y_i}{N} - \frac{\bar{x} \cdot \sum y_i}{N} - \frac{\bar{y} \cdot \sum x_i}{N} + \bar{x}\bar{y} = \frac{\sum x_i y_i}{N} - \bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y} + \bar{x}\bar{y} = \frac{\sum x_i y_i}{N} - \bar{x}\bar{y} \end{aligned}$$

*Transformad la expresión (1) de modo que al final quede en función de los datos contenidos en la tabla de contingencia anterior.*

Se trata de poner cada uno de los factores que aparecen en la expresión (1) en función de las magnitudes a, b, c y d.

### 1º) Cálculo de $\bar{y}$ y de $\bar{x}$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{N} = \frac{(a+b) \cdot 1 + (c+d) \cdot 0}{(a+b) + (c+d)} = \frac{a+b}{N}. \quad \text{Análogamente se llega a } \bar{x} = \frac{a+c}{N}$$



$$\text{Por tanto: } \bar{x} \cdot \bar{y} = \frac{(a+c) \cdot (a+b)}{N^2} \quad (2)$$

$$2^\circ) \text{ Cálculo de } \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 \text{ y de } \frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2$$

$$\sum x_i^2 = (1^2 + 1^2 + \dots + 1^2) \text{ Un total de } (a+c) \text{ veces} = (a+c)$$

$$\sum y_i^2 = (1^2 + 1^2 + \dots + 1^2) \text{ Un total de } (a+b) \text{ veces} = (a+b)$$

$$\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 = \frac{(a+c)}{N} - \frac{(a+c)^2}{N^2} = \frac{(a+c)}{N} \left[ 1 - \frac{a+c}{N} \right] = \frac{(a+c) \cdot (b+d)}{N^2} \text{ Análogamente:}$$

$$\frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2 = \frac{(a+b) \cdot (c+d)}{N^2}, \text{ con lo que el producto de ambas expresiones queda co-}$$

mo:

$$\left( \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 \right) \cdot \left( \frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2 \right) = \frac{(a+c) \cdot (b+d) \cdot (a+b) \cdot (c+d)}{N^4} \quad (3)$$

$$3^\circ) \text{ Cálculo de } \frac{\sum x_i \cdot y_i}{N}$$

X	Y	
1	1	→ a veces
1	0	→ c veces
0	1	→ b veces
0	0	→ d veces

$$\sum x_i \cdot y_i = \sum 1 \text{ a veces, luego } \frac{\sum x_i \cdot y_i}{N} = \frac{a}{N} \quad (4)$$

Sustituyendo las expresiones (2), (3) y (4), en la (1), nos queda finalmente:

$$\phi = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b) \cdot (c+d) \cdot (a+c) \cdot (b+d)}}$$

(Expresión para calcular el coeficiente de correlación  $\phi$  entre dos variables dicotómicas).

A continuación daremos valores concretos a las magnitudes del ejemplo anterior y procederemos a calcular e interpretar el valor de  $\phi$ :

*En una muestra de 100 familias éstas fueron clasificadas según la titulación académica X de los padres (superior o no). Se trata de investigar el grado de correlación de dicha variable X, con el tipo de estudios Y (universitarios o no) seguidos por el primer descendiente (hijo o hija) de cada familia. La tabla de contingencia resultó ser:*

## 12. Iniciación a la investigación educativa

		Titulación (X)		Total
		Superior	No superior	
Estudios del hijo (Y)	Universitarios	21	35	56
	No universitarios	9	35	44
Total		30	70	100

*Averigüad el grado de correlación entre ambas variables. (Entenderemos titulación superior cuando, al menos uno de los cónyuges la tenga y no superior cuando ninguno la tenga).*

La tabla que se presenta en la segunda de estas dos últimas actividades, es un ejemplo concreto de la tabla general que para dos variables dicotómicas se presenta en la primera de ellas. Arbitrariamente podemos asignar los valores 1 y 0 para calificar cada dicotomía. Así por ejemplo 1 para titulación superior y 0 para no superior; 1 para los estudios universitarios y 0 para los que no cursaron tales estudios. De este modo resulta muy sencillo obtener  $\phi = 0,18$ , lo que indica la existencia de una moderada correlación positiva entre las variables a las que se asignó el valor 1 (o, lo que es equivalente, entre las que se les dio el valor 0). Es decir entre titulación superior e hijo mayor universitario (o entre titulación no superior e hijo mayor no universitario). Un resultado negativo hubiese implicado una relación entre 1/0 variables, es decir entre titulación superior e hijo mayor no universitario (o lo que es equivalente entre ausencia de titulación superior e hijo mayor universitario).

¿Qué quiere decir que  $\phi = +1$ ? Para que esto suceda es preciso que b y c valgan cero (ver la expresión de Phi). En este caso se tendría que ningún hijo mayor de padres sin titulación superior tendría estudios universitarios y ningún hijo cuyo padre (o madre) tuviese una titulación superior, dejaría de tenerlos, indicando una perfecta correlación positiva entre titulación académica superior de los padres/hijo universitario (o entre padres sin titulación superior/hijo no universitario). Un valor de -1 para  $\phi$ , indica por el contrario, una perfecta correlación negativa, es decir en este caso a y d serían 0. Todos los padres sin titulación superior tendrían a su hijo mayor en la universidad y todos los padres con titulación superior tendrían a sus hijo mayor fuera de la universidad.

### 5.3.3. Datos ordinales: Coeficiente de correlación de Spearman

Otro caso con el que podemos encontrarnos es cuando **ambas variables X e Y descansen sobre datos ordinales**, como podría ser, por ejemplo, una clase en la que sus alumnos fuesen ordenados según las notas alcanzadas en Física de mayor a menor, y según las notas alcanzadas en Matemáticas (también de mayor a menor). En este caso una perfecta correlación positiva podría entenderse cuando el número de orden que ocupa cada alumno en la lista de Física coincide con el que ocupa en la de Matemáticas (y viceversa):

**Perfecta correlación positiva**

Alumno	Orden en Matemáticas (X)	Orden en Física (Y)
a	1	1
b	2	2
:	:	:
z	24	24

**Perfecta correlación negativa**

Alumno	Orden en Matemáticas (X)	Orden en Física (Y)
a	1	24
b	2	23
:	:	:
z	24	1

Cuando en un caso determinado hay un empate y, por ejemplo, dos alumnos tendrían que ocupar el 2º puesto en la lista de Matemáticas por tener idénticas notas, se saca la media de orden de  $(2+3)/2 = 2.5$  y la lista queda como 1; 2.5; 2.5; 4; 5, etc. Si fuesen tres empates (p.e. para el 4º puesto), el sistema sería:  $(4+5+6)/3 = 5$  y la lista quedaría como 1; 2; 3; 5; 5; 5; 7; 8, etc.

Para casos o situaciones como la expuesta **se puede utilizar el coeficiente de correlación de Spearman  $r_s$** . La expresión para calcular dicho coeficiente puede deducirse a partir de la del de Pearson (ved demostración en **anexo 2**). El resultado es:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum D_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

En donde N, es el número de individuos o pares de observaciones y  $D_i$  la diferencia  $X_i - Y_i$ .

En la actividad siguiente se suministran los datos necesarios para que -siguiendo con el mismo problema- se proceda a calcular el coeficiente de Spearman.

*Las listas adjuntas corresponden a una clase en la que los 20 alumnos han sido calificados en Matemáticas (X) y Física (Y).*

Alumno	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
Y	7.5	3	8.5	2	3	1.5	6	9	4	9	7	8	6	3.7	1	5.5	8	4	6.5	5
X	8	5	9.3	5	3	4	5.5	8	3	6.8	9	9.7	9	1	2	6.5	4.9	6	7	5.5

*Hallad el grado de relación entre ambas variables para los alumnos que forman dicha clase.*

Rdo.  $r_s = 0.7$ . (Mayor que el crítico obtenido de la tabla para  $N=20$  y  $\alpha=0.01$ ), por lo que cabe concluir que la notable correlación positiva observada no se debe al azar (con un margen de error del 1% ).

## 12. Iniciación a la investigación educativa

La actividad permite manejar el coeficiente de Spearman siguiendo con el ejemplo utilizado para su introducción. Es evidente que para el caso propuesto si conocemos las notas de Matemáticas y Física de cada alumno, podríamos haber recurrido a calcular el coeficiente de Pearson. Naturalmente los resultados han de ser coherentes. Siempre que la muestra no sea muy pequeña e incluya más de diez pares de valores ordenados, la prueba de significación para este coeficiente se realiza igual que para el de Pearson y utilizando las mismas tablas. En general esta prueba no es tan potente como la de Pearson. Los cálculos son más sencillos, aunque este hecho, con los medios informáticos existentes, carece hoy en día de importancia.

Finalmente vamos a abordar el problema de la relación entre dos variables en el que una de ellas (Y) es continua (por ejemplo, la actitud hacia la ciencia medida mediante una nota entre cero y diez) y la otra (X) genuinamente dicotómica (por ejemplo, el sexo del alumno).

### 5.3.4. Variable continua y variable dicotómica: Coeficiente de correlación biserial puntual

El coeficiente que se utiliza en este caso, recibe el nombre de **coeficiente de correlación biserial puntual**  $r_{bp}$ . A partir del coeficiente de correlación de Pearson, es posible deducir (ved **anexo 3**) para estas condiciones la expresión del coeficiente de correlación biserial puntual:

$$r_{bp} = \sqrt{\frac{N_1}{N_0}} \cdot \left( \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}}{s_y} \right)$$

En la expresión anterior,  $N_0$  es el número de observaciones de la variable X con categoría 0 y  $N_1$  representa lo mismo pero con categoría 1 (ambas categorías se establecen para la variable dicotómica de forma arbitraria, por ejemplo, varón 0 y mujer 1),  $\bar{y}$  es el valor medio de todos los valores de y, e  $\bar{y}_1$  es el valor medio de solo aquellos valores de Y asociados con una X igual a 1, finalmente  $s_y$  representa la desviación típica de Y. La significación estadística de este coeficiente se contrasta del mismo modo que el de Pearson.

*En una investigación sobre las actitudes de los alumnos hacia la ciencia, se ha utilizado un cuestionario que permite cuantificar la actitud positiva (Y) mediante una nota comprendida entre 0 y 10. Los datos han sido recogidos en la tabla adjunta y se acompaña cada uno de una indicación respecto del sexo (X) de la persona encuestada (V varón, M mujer).*

Y	2'9	4'3	8'6	5'7	7'1	4'3	5'7	7'1	8'6	5'7	1'4	1'4	2'9	2'9	5'7	2'9	8'6	1'0	1'4	2'9
X	V	V	M	M	M	V	M	M	M	V	V	M	V	M	M	V	M	M	V	M

*Determinad el grado de correlación existente en el grupo encuestado entre ambas variables.*

Rdo. Asignando  $V=1$  y  $M=0$ , obtenemos  $r_{bp} = 0'437$ , mostrando la existencia de una cierta correlación positiva entre el hecho de ser varón y la actitud favorable hacia la ciencia. Sin embargo, el valor de la tabla (para 18 gl y  $\alpha=0'01$ ) es de 0'561, por lo que no podemos afirmar que esa correlación sea estadísticamente significativa (para dicho nivel de exigencia).

Un procedimiento alternativo para comprobar la significación de los datos de la actividad anterior sería el cálculo de la *t* de Student utilizando la nota media correspondiente a las mujeres y la correspondiente a los varones. Sin embargo el coeficiente de correlación biserial puntual tiene la ventaja de que además de la significación estadística, proporciona una indicación sobre la intensidad del efecto. Es decir: la significación estadística lo único que nos dice es que no es probable que las diferencias observadas sean debidas al azar, pero no nos da ninguna información directa sobre si, por ejemplo, las diferencias de actitud hacia la ciencia observadas entre los chicos y las chicas son más o menos intensas (o **magnitud del efecto**). Es por esto que se aconseja, siempre que sea posible, que los datos de *t*, vayan acompañados del valor del coeficiente de correlación biserial puntual, ya que de otra forma existe el riesgo de exagerar la importancia de resultados estadísticamente significativos. Se puede demostrar que la relación que liga la ***t* de Student con  $r_{bp}$**  viene dada por la expresión:

$$r_{bp} = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + gl}} \quad \text{siendo } gl = N_1 + N_2 - 2$$

Así, en el caso de la actividad anterior, la *t* de Student correspondiente es  $t_d = 2'06$ , menor que el correspondiente valor de la tabla (para 18 *gl* y  $\alpha = 0'01$ ) que es de **2'88** y, por tanto, las diferencias de actitud hacia la ciencia entre chicos y chicas no podrían considerarse como estadísticamente significativas (para ese nivel de exigencia). Podemos comprobar también cómo si sustituimos el valor  $t_d = 2'06$  en la expresión anterior, obtenemos  $r_{bp} = 0'437$ .

## 6. EL TAMAÑO DEL EFECTO

A veces podemos encontrarnos con expresiones tales como que una diferencia es muy significativa. Conviene tener claro que eso no debe interpretarse como que se trata de una diferencia muy grande, importante o de mucha relevancia. En efecto, un valor de *z* (o de *t*) más alto, lo único que nos dice es que tenemos una mayor seguridad (o menor probabilidad de equivocarnos) al afirmar que la diferencia encontrada no se debe al azar.

Para solucionar el problema anterior se ha construido un nuevo índice denominado **tamaño del efecto**, el cual nos permite, entre otras cosas:

- Cuantificar una diferencia de forma que se pueda interpretar mejor su magnitud e importancia para no confundir la significación estadística de un resultado con su relevancia práctica.
- Comparar unas diferencias con otras que procedan de estudios diferentes (e incluso obtenidas con instrumentos distintos y analizadas con métodos estadísticos distintos).

En general, el tamaño del efecto es particularmente útil cuando se pretende cuantificar la efectividad de alguna innovación didáctica realizando alguna comparación.

Los procedimientos más utilizados para medir el tamaño del efecto son:

## 12. Iniciación a la investigación educativa

-Los coeficientes de correlación (que, como ya sabemos, cuantifican los resultados entre 0 y 1).

-Una **diferencia tipificada**, que es lo que habitualmente se denomina tamaño del efecto.

En el apartado anterior ya hemos tratado los coeficientes de correlación. Nos centraremos ahora en el procedimiento de la diferencia tipificada. En este caso, la magnitud más utilizada es la llamada **d** de Cohen.

*¿De qué factores cabe esperar que dependa el tamaño del efecto para cuantificar si la diferencia observada entre dos medias es más o menos grande o relevante? (Suponed distribuciones normales).*

Podemos pensar, en principio, que el tamaño del efecto será tanto más grande cuanto mayor sea la diferencia entre las medias correspondientes a ambos grupos. Sin embargo solo este dato sería insuficiente para comparar los valores del tamaño del efecto correspondientes a pares de grupos distintos, entre otras cosas, porque dependería de la escala de medida y de los instrumentos utilizados para obtener los valores de cada grupo. Además, influirán también las desviaciones de los valores respecto al valor medio correspondiente, de modo que cuanto menores sean dichas desviaciones, más importancia tendrá la diferencia encontrada.

Razonamientos como los anteriores llevaron a Cohen a proponer la expresión:

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s}$$

en la que **d** es el tamaño del efecto y **s** la **desviación típica combinada**. Se trata pues de una diferencia tipificada (como **z** o la **t** de Student) que permite comparar unas diferencias con otras, independientemente de cómo se hayan calculado y de las escalas utilizadas.

Hemos de tener en cuenta que **s** no es la desviación que hubiéramos obtenido simplemente uniendo los sujetos de ambos grupos en un único grupo. De hecho **s<sup>2</sup>** representa la varianza media de ambos grupos, es decir:

$$s = \sqrt{\frac{N_1 \cdot s_1^2 + N_2 \cdot s_2^2}{N_1 + N_2}} \quad \text{donde } s_1^2 = \frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{N_1} \quad \text{y} \quad s_2^2 = \frac{\sum (x_2 - \bar{x})^2}{N_2}$$

La expresión de la **d** de Cohen anterior puede utilizarse para calcular el tamaño del efecto cuando se miden las diferencias entre dos grupos en general. No obstante también es posible que, dependiendo del tipo de grupos y de las circunstancias (diferencia entre el pre-test y el post-test en un mismo grupo, diferencia entre un grupo experimental y otro de control, diferencia entre un grupo experimental y otro de control cuando ambos han tenido pre y post-test, etc.), se introduzcan variaciones en la **d** de Cohen cambiando la expresión de la desviación típica (que, para no extendernos excesivamente, no contemplaremos aquí).

*¿Qué significa un tamaño del efecto **d** = 1?*

De acuerdo con la expresión anterior, significa que la media más alta se encuentra 1 desviación típica (combinada) más alejada de la media más baja. También se puede interpretar como que la puntuación del sujeto promedio del grupo al que le corresponde una media mayor, está 1 desviación típica por arriba que la del sujeto promedio del otro grupo.

En investigación educativa se suele considerar un valor del tamaño del efecto  $d = 0.5$ , como de una significación práctica importante (incluso hay quienes rebajan este límite a  $d = 0.33$ ). Para  $d = 0.6$  deben considerarse ya como grandes. No obstante, conviene, siempre que sea posible, valorar el tamaño del efecto comparando el valor obtenido con otros valores obtenidos en estudios similares o bien mediante la comparación de valores del tamaño del efecto correspondientes a pares de muestras distintas (dentro de un mismo estudio).

Existe una relación entre el valor de la  $t$  de Student y el tamaño del efecto que acabamos de introducir. Dicha relación viene dada por la expresión:

$$d = \frac{t(N_1 + N_2)}{\sqrt{(N_1 + N_2 - 2) \cdot N_1 \cdot N_2}}$$

Esta relación nos da un valor aproximado pero nos permite pasar de  $t$  a  $d$  (o viceversa) con bastante facilidad, cuando estamos trabajando con dos muestras de tamaños  $N_1$  y  $N_2$ .

*Un grupo (1) de estudiantes de secundaria asistió a diversos talleres y charlas sobre sostenibilidad y medio ambiente, mientras que otro grupo semejante (2) no lo hizo. Al final del curso se pasó una misma prueba en ambos grupos, diseñada específicamente para medir el grado de compromiso (comportamiento, acciones concretas, actitudes) de los alumnos con la sostenibilidad, calificado entre 0 y 10. Los resultados se exponen en la tabla siguiente. Proceded a un análisis de los mismos.*

(1)	5	7	9	4	6	2	8	8	7	9	5	5	6	7	9	8	5	5	3	8	7	9	9	9	6	7	8	7	6	6	-	-
(2)	5	5	6	7	6	2	5	8	2	3	4	5	6	6	6	5	7	6	5	3	7	6	7	8	9	6	4	5	5	4	5	6

Si calculamos la  $t$  de Student para muestras independientes, aplicando:  $t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}$  obtenemos  $t = 2.8$  y un valor de  $p = 0.0074$  (menor que  $\alpha = 0.01$ ).

Concluimos pues que no podemos rechazar la hipótesis nula y que con un nivel de significación  $\alpha = 0.01$  podemos afirmar que las diferencias entre ambos grupos son estadísticamente significativas con una seguridad muy alta.

Para calcular el tamaño del efecto mediante la  $d$  de Cohen:

$$s = \sqrt{\frac{N_1 \cdot s_1^2 + N_2 \cdot s_2^2}{N_1 + N_2}} = \sqrt{\frac{30 \cdot (1.86)^2 + 32 \cdot (1.63)^2}{30 + 32}} = 1.745$$

## 12. Iniciación a la investigación educativa

$$\text{Sustituyendo: } d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s} = \frac{6'67 - 5'44}{1'745} = 0'7$$

Podemos afirmar, pues, que el tamaño del efecto es grande, revelando una fuerte relación entre los talleres y charlas impartidas sobre sostenibilidad con el comportamiento y actitudes de los alumnos en este tema.

También hubiésemos podido obtener  $d$  a partir del valor calculado de  $t$ . En efecto:

$$d = \frac{t(N_1 + N_2)}{\sqrt{(N_1 + N_2 - 2) \cdot N_1 \cdot N_2}} = \frac{2'77 \cdot (30 + 32)}{\sqrt{(30 + 32 - 2) \cdot 30 \cdot 32}} = 0'7$$

Para terminar, veremos a continuación algunos criterios a tener en cuenta a la hora de evaluar una investigación didáctica.

## 7. ¿CÓMO EVALUAR UN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA?

*Considerad posibles criterios para la evaluación de una investigación didáctica y luego proceded a evaluar el trabajo (de investigación) que suministre el profesor.*

Si tenemos en cuenta el carácter científico que debe tener una investigación didáctica completa, parece claro que para su evaluación habrá que incluir, entre otros, unos criterios similares a los que se utilizan para cualquier trabajo de investigación científica (que son en los que nos vamos a centrar aquí).

Podemos plantearnos preguntas como las que, en orden aleatorio, se exponen a continuación y analizar en qué medida el posible trabajo de investigación suministrado responde a las mismas y a los aspectos que se detallan a continuación de cada una.

**¿Se plantean los problemas a investigar?** Problema o problemas de interés, de actualidad, se plantean claramente, de forma precisa, bien delimitados, teóricamente justificados, novedosos, originales, conectan con dificultades u obstáculos para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

**¿Se formulan hipótesis?** Son hipótesis teóricamente fundamentadas, formuladas de forma clara y precisa, que se pueden contrastar de alguna manera, bien directamente o a través de consecuencias que se derivan de ellas.

**¿Se detallan los diseños elaborados para contrastar las hipótesis?** Se describen de forma inteligible y precisa, se elaboran con el propósito de contrastar las hipótesis principales de que consta la investigación, se especifican las variables su manejo y control, los datos a obtener, los sujetos o materiales de donde se obtienen dichos datos, la forma de obtenerlos, se señalan posibles obstáculos, las condiciones en las que se van a poner en práctica los diseños. Los instrumentos utilizados, son apropiados, miden realmente aquello que se supone deben medir.

**¿Se utiliza un diseño de abordaje múltiple?** La contrastación de una misma hipótesis se realiza utilizando distintos diseños para aumentar así la validez de los resultados obtenidos.

**¿Se exponen y analizan los resultados?** Los datos recogidos se presentan ordenados, con claridad. Se hace uso de tablas, ilustraciones gráficas, para facilitar la visión de los mismos. Se explica claramente y de forma precisa cómo se obtienen los resultados, se señalan las posibles fuentes de error, se delimita el campo de validez. Existe y se hace patente, una coherencia ele-



vada entre los resultados obtenidos cuando estos lo han sido mediante un diseño de aborde múltiple.

**¿Se utiliza algún tipo de tratamiento estadístico?** Se trata de analizar si el trabajo incorpora un tratamiento estadístico apropiado en la presentación de los datos y en su manejo para obtener los resultados, si son fiables las técnicas utilizadas, si se especifica el margen de error, si los resultados obtenidos son estadísticamente significativos, si se utiliza algún índice para medir, en caso de que sea pertinente, la intensidad o tamaño del efecto.

**¿Se exponen con claridad las conclusiones?** Las conclusiones a las que se llega son expuestas con claridad, apoyándose en los resultados obtenidos y en relación con las hipótesis manejadas. Existe coherencia entre las conclusiones y los resultados. Se señalan las posibles limitaciones del estudio realizado. Se muestra su relación con el marco teórico en el que se inserta la investigación (ampliación, confirmación, profundidad, cuestionamiento de algún aspecto, etc.).

**¿Se sugieren nuevos problemas o caminos para continuar investigando?** A raíz de los resultados obtenidos en la investigación, surgen nuevos problemas de interés, sobre los que también vale la pena investigar y se especifican.

**¿Se realizan aportaciones novedosas de algún tipo?** Las conclusiones obtenidas suponen una aportación nueva, original, al campo de conocimientos en el que se enmarca la investigación

**¿Tiene implicaciones de interés para el proceso de enseñanza y aprendizaje?** Se trata de juzgar en qué medida los resultados y conclusiones, pueden traducirse en propuestas de innovación y mejora de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, si pueden contribuir a solucionar problemas y dificultades concretas que se detectan en el aula, y de si esto se argumenta o no en el trabajo.

**¿Se maneja una bibliografía pertinente y suficiente?** Las referencias bibliográficas son apropiadas al tema del trabajo, incluye bibliografía actualizada, las citas son pertinentes y no de simple relleno, se trata principalmente de una bibliografía específica sobre el tema (por contraposición a referencias muy generales) que denota que el autor o autores conocen y están al día de la temática tratada.

...

Conviene conocer también los criterios concretos utilizados por diversas revistas de Didáctica de las Ciencias de prestigio, para evaluar los artículos que se desean publicar en ellas. Con todo ello, es posible elaborar una tabla que recoja diferentes aspectos a evaluar y aplicarla a un trabajo de investigación concreto ya publicado.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Para terminar el tema, se propone la realización de algunas actividades complementarias:

*1. Un grupo (A) de 30 alumnos ha sido calificado en Física (F) y en Matemáticas (M), con los siguientes resultados (entre 0 y 10)*

A	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	x	y	z	w	μ	ε	φ	ñ
F	7	3	8	2	3	1	6	9	4	9	7	8	6	3	1	3	8	5	6	3	9	9	4	6	3	7	10	6	10	7
M	8	5	10	5	3	4	5	8	3	6	9	10	10	1	2	5	8	4	6	5	10	8	1	2	3	9	8	5	9	10

- Averiguad el grado de dependencia entre las calificaciones de ambas asignaturas.
- Considerad en cuál de las dos asignaturas "va mejor" el alumno "q".

## 12. Iniciación a la investigación educativa

Rdo. a) Coeficiente correlación de Pearson calculado:  $r = 0'74$  (fuerte correlación positiva entre nota de Matemáticas y de Física). Dicho valor calculado es mayor que el de la tabla  $r^* = 0'463$  (para 28 gl y  $\alpha = 0'01$ ) por lo que la correlación observada es estadísticamente significativa (para el nivel de exigencia especificado).

b) Aunque la nota es la misma, la  $t$  de Student es mayor en Física que en Matemáticas ( $0'83$  frente a  $0'66$ ), por lo que concluimos que tiene "más mérito" la nota de Física.

*2. A los alumnos de dos grupos se les preguntó acerca de su interés por la Biología. Los resultados se exponen en la tabla siguiente ( $m =$  mucho;  $b =$  bastante;  $r =$  regular;  $p =$  poco;  $n =$  nada). Sabiendo que en cada grupo había 40 alumnos, se pide:*

Grupo encuestado	m	b	r	p	n
A	6	4	6	14	10
B	16	6	6	10	2

*¿Existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos?*

Rdo. El valor de  $\chi^2$  resulta ser de  $10'945$ . Utilizando la tabla de  $\chi^2$  vemos que para 4 gl y  $\alpha = 0'05$ , el valor crítico de  $\chi^2$  es de  $9'487$ . Por tanto podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que el interés varía de forma estadísticamente significativa entre uno y otro grupo (con un margen de error del 5%).

*3. En las primeras pruebas de acceso a Cátedra para profesores de Secundaria en la Comunidad Valenciana, el trabajo presentado como memoria se calificaba por todos los tribunales con una nota comprendida entre 0 y 4. Entre los resultados obtenidos merece destacarse que el tribunal de filosofía calificó las memorias elaboradas por los 63 profesores que accedieron, de forma que la nota media correspondiente fue de  $3'40$  (con una desviación estándar  $s = 0'48$ ), mientras que el tribunal de francés calificó las de 51 profesores que lograron el acceso, con una nota media de  $2'44$  (con una desviación estándar  $s = 0'70$ ).*

*a) ¿Podemos afirmar que se trata de una diferencia debida al azar?*

*b) ¿Que nota tendría más "mérito" un  $2'8$  en francés o un  $3'5$  de filosofía?*

Rdo. El valor calculado de la  $t$  de Student es  $t_d = 8'34$ . Utilizando la tabla correspondiente, vemos que para 100 gl (112 no está, por lo que tomamos el inmediato inferior) el valor crítico de  $t_d$  (para  $\alpha = 0'01$ ) es de  $2'63$ . Por tanto, cabe rechazar la hipótesis nula y concluir que la diferencia observada no se debe al azar (con un margen de error del 1%). Así mismo, el cálculo del valor de  $t$  de Student nos muestra que la calificación de  $2'8$  en francés (con  $t = 0'51$ ) tiene más "mérito" que el  $3'5$  en filosofía (con  $t = 0'21$ ).

*4. En un curso de 25 alumnos, éstos obtuvieron las notas (entre 0 y 10) para la primera y segunda evaluación en la asignatura de Física, que figuran en la tabla adjunta. ¿Ha habido una mejora estadísticamente significativa del grupo?*

A	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	x	y	z
1ª	6	4	3	7	1	2	5	5	6	8	3	4	2	5	7	3	4	0	10	9	4	6	5	1	4
2ª	8	1	5	9	2	4	7	3	6	10	3	6	3	4	9	6	5	1	9	10	2	4	5	3	4

Rdo. El valor de la  $t$  de Student para grupos apareados resulta ser de  $t = 1'88$ . En la tabla correspondiente vemos que el valor crítico de  $t$  para 24 gl y  $\alpha = 0'05$  resulta ser  $t^* = 2'06$ . Por tanto, como el  $t$  calculado es menor que el crítico, se concluye que no podemos rechazar la hipótesis nula (según la cual no hay diferencias o estas se deben al azar) y afirmar que ha habido una mejora estadísticamente significativa del grupo. El valor de  $p$  es de  $0'079$ .

5. Antes de impartir unas sesiones sobre sensibilización hacia la música clásica, se pregunta a un grupo de 37 alumnos, a cuántos les gustaría acudir a un concierto de dicho tipo de música. La misma pregunta se repite después de las sesiones de sensibilización, con los siguientes resultados:

		Después		Total
		Si	No	
Antes	No	11	18	29
	Si	5	3	8
Total		16	21	37

¿Ha variado su actitud de forma estadísticamente significativa?

Rdo. Aplicando la prueba de McNemar obtenemos  $\chi^2 = 4.57$ , valor superior al valor crítico de la tabla (para 1 gl y  $\alpha = 0.05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula y concluimos que las sesiones de sensibilización han tenido un resultado positivo estadísticamente significativo (con un margen de error del 5%).

6. A un grupo de 100 profesores de ciencias se les proporciona una lista de 9 líneas de investigación didáctica explicándoles en qué consisten y pidiéndoles que las ordenen según la importancia que le atribuyan a cada una (de mayor a menor). El resultado final es la lista 1ª. El mismo proceso se sigue con otro grupo similar de profesores, obteniendo la lista 2ª. ¿Existe una coherencia interna estadísticamente significativa entre ambas ordenaciones?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ª	ca	ev	tp	cc	ctsa	ac	rp	dc	hc
2ª	ca	tp	ev	ctsa	rp	ac	cc	dc	hc

Clave: ca = concepciones alternativas sobre conceptos científicos; ev = evaluación; tp = trabajos prácticos; cc = concepciones sobre la ciencia; ac = actitudes hacia ciencia y su aprendizaje; ctsa = relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente; rp = resolución problemas; dc = diseño curricular; hc = historia de la ciencia).

Rdo. Coeficiente de correlación de Spearman  $r_s = 0.867$  (coincidente con el de Pearson, tomando los números de orden como datos cuantitativos). Alta correlación positiva, estadísticamente significativa.

7. Deseamos averiguar si hay diferencias en la imagen que de la ciencia tienen los alumnos de dos centros escolares. En la tabla se presentan los resultados obtenidos al entrevistar algunos alumnos. ¿Qué podemos concluir?

	Centro A	Centro B
Imagen adecuada	19	41
Imagen deformada	50	70

Rdo. El valor de  $\chi^2$  calculado resulta ser de 1.69. Utilizando la tabla de  $\chi^2$  vemos que para 1 gl y  $\alpha = 0.05$ , el valor crítico de  $\chi^2$  es de 3.84. Por tanto, cabe concluir que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. Mediante calculadoras informáticas encontramos también  $p = 0.19$  con lo que al ser mayor que  $\alpha$  se puede concluir (sin necesidad de utilizar tablas) que las diferencias no son estadísticamente significativas.

## 12. Iniciación a la investigación educativa

**8.** *Un profesor nota que sus estudiantes de 3º de ESO fracasan a la hora de usar la teoría cinética de los gases. El profesor, después de pasar una prueba a los 50 alumnos que tiene, concluye que 34 no disponen de una adecuada comprensión de este modelo, mientras que 16 sí que lo dominan. A continuación, introduce este modelo de una manera diferente a la habitual y, al terminar pasa un cuestionario similar al primero. Constata que de los 34 alumnos que inicialmente no disponían del modelo cinético, ahora 16 sí parecen dominarlo, y 18 no; respecto al grupo de 16 personas que parecían dominarlo, 4 de ellas evidencian ahora no dominarlo, mientras que 12 continúan dominándolo. ¿Podemos suponer que la estrategia usada mejora el aprendizaje?*

Rdo. Aplicando la prueba de McNemar obtenemos  $\chi^2 = 6'05$ , valor superior al valor crítico de la tabla (para 1 gl y  $\alpha = 0'05$ ). También es posible obtener  $p=0'014$ . Concluimos, pues, que la estrategia de aprendizaje utilizada ha tenido un resultado positivo estadísticamente significativo.

**9.** *Con el propósito de decidir si una enseñanza problematizada genera una actitud positiva en los estudiantes se ha pasado un cuestionario a los alumnos de dos profesores. El grupo del profesor A era el experimental y el de B el de control. En la tabla se presentan los resultados obtenidos. Extraed conclusiones.*

Medida en que los alumnos perciben que la forma de organizar los temas les ayuda (0-10) a:	A (N=111)		B (N=110)	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
a) Comprender el interés de lo que se va a estudiar (al inicio)	7'8	1'8	5'6	2'7
b) Comprender el orden seguido (en el cambio de apartados o temas)	7'5	2'4	6'4	2'8
c) Comprender el avance alcanzado (al final de cada tema)	8'0	2'2	6'3	2'9

Rdo. Los valores de t de Student calculada (datos cuantitativos de dos grupos independientes) son  $t_a = 7'13$ ,  $t_b = 3'13$  y  $t_c = 4'91$ , siendo todos ellos mayores que el valor de la tabla (para 100 gl y  $\alpha = 0'01$ ),  $t^* = 2'63$ , por lo que concluimos que las diferencias entre el grupo experimental y el de control son estadísticamente significativas en los tres ítems considerados (con un margen de error del 1 %). A los mismos resultados podemos llegar utilizando programas informáticos de cálculo. Así, por ejemplo, para el caso b)  $p = 0'0019$  (mucho menor que  $\alpha$ ), mostrando una diferencia estadísticamente muy significativa. En cuanto al tamaño del efecto:  $d_a = 0'96$ ,  $d_b = 0'42$  y  $d_c = 0'66$ .

**10.** *En un trabajo que pretendía mostrar las mejoras en el aprendizaje conseguido, con relación a los conceptos de trabajo, calor y energía, cuando se utiliza una enseñanza por investigación, se utilizó un mismo cuestionario en un grupo experimental (1) y otro de control (2). Una de las cuestiones era la siguiente:*

*Disponemos de dos objetos del mismo tamaño que se pueden mover sobre una superficie horizontal, de modo que el rozamiento es insignificante. Uno de los objetos es de plástico ligero, mientras que el otro es de hierro. A los dos se les aplican fuerzas resultantes idénticas de tal forma que los objetos, inicialmente en reposo, salen de una línea A y se mueven perpendicularmente a ella. ¿Alguno de los objetos tendrá una energía cinética mayor al llegar a otra línea B paralela a la anterior?*

Respuestas correctas: 3% de alumnos de control (N = 33) y 35% de los del grupo experimental (N = 43).

*Debatid la cuestión, argumentando la conclusión y a continuación averiguad si, para dicha cuestión, las diferencias observadas se pueden considerar estadísticamente significativas.*

Rdo. El valor de la *t* de Student calculada (datos cualitativos de dos grupos independientes), resulta ser  $t = 4'07$ , mientras que el valor correspondiente obtenido de la tabla ( para 70 gl y  $\alpha = 0'01$ ) es  $t^* = 2'65$ . Podemos, pues, afirmar pues que, estadísticamente, las diferencias observadas entre el grupo de control y el experimental no se deben a causas aleatorias. El tamaño del efecto obtenido a partir del valor de *t*, resulta ser:  $d = 0'97$ .

**11.** *Para estudiar la imagen que tienen los estudiantes de un mismo grupo de alumnos, respecto de la competencia para enseñar de dos profesores distintos que les imparten clase, se les pidió que calificasen dicha competencia entre 0 y 10.*

Profesor A	8	7	6	8	7	5	6	4	9	9
Profesor B	8	6	5	6	5	5	6	4	6	7

*Interpretad los resultados obtenidos.*

Rdo. Al tratarse de datos cuantitativos correspondientes a un mismo grupo de alumnos, utilizamos la *t* de Student correspondiente (grupos apareados). De este modo, el valor de *t* calculado resulta ser de  $t = 3'16$ , superior a la *t* obtenida a partir de la tabla (para 9 gl y  $\alpha = 0'05$ ) que es  $t^* = 2'26$ , por lo que hemos de concluir que las diferencias observadas en la percepción de los alumnos respecto de la competencia para enseñar de los profesores A y B, son estadísticamente significativas. Nota: Para calcular  $s_d$  hemos utilizado  $N-1$  en vez de  $N$  porque  $N < 30$ .

**12.** *Las puntuaciones obtenidas en la prueba de evaluación internacional PISA 2000 en competencia científica por los estudiantes finlandeses y los españoles fueron:*

Finlandeses:  $\bar{x} = 538$ ,  $s = 86$ ,  $N = 4864$

Españoles:  $\bar{x} = 491$ ,  $s = 95$ ,  $N = 6214$

*Extraed las conclusiones pertinentes*

Rdo. El valor de la *t* de Student calculada (datos cuantitativos de dos grupos independientes), resulta ser  $t = 27'26$ , mucho mayor que el valor correspondiente obtenido de la tabla (para más de 1000 gl y  $\alpha = 0'01$ ) es  $t^* = 2'58$ . Podemos afirmar, pues, que las diferencias observadas no se deben al azar. Utilizando cualquier calculadora informática, es fácil obtener también que  $p = 0'0001$ , mostrando una diferencia estadísticamente significativa. En cuanto al tamaño del efecto,  $d = 0'52$ .

**13.** *Queremos realizar una investigación para determinar si los profesores de Física se ven afectados en alguna medida al calificar exámenes de su materia según estén firmados por chicos o chicas. Proponed un diseño experimental posible detallando también el tratamiento estadístico de los resultados.*

## A MODO DE CONCLUSIÓN

La educación científica en España no está todavía exenta de discusiones y polémicas acerca de qué métodos de enseñanza conviene utilizar. Estas disputas se ven agravadas y fomentadas por unas políticas educativas muy poco estables, al albur de creencias religiosas, ideologías y aspectos económicos, sin que se den amplios consensos. Además hay que tener en cuenta que la Didáctica de las Ciencias, a pesar de los claros avances experimentados desde los años 80, aun no ha logrado ser percibida en nuestro país como un cuerpo global y coherente de conocimientos con un amplio consenso entre

## 12. Iniciación a la investigación educativa

enseñantes e investigadores, quizás por la influencia de modas que se van sucediendo cambiando continuamente el foco de atención (objetivos, capacidades, competencias...), por la tendencia a buscar fundamentaciones teóricas para los trabajos de investigación en otros campos como la psicología o la pedagogía (y no en la propia Didáctica de las Ciencias) y porque, desafortunadamente, existe un espacio vacío muy grande entre los resultados de la investigación didáctica y la puesta en práctica de sus implicaciones en el aula.

Frente a esta situación hay que partir de la base de que la investigación didáctica es una actividad orientada hacia el desarrollo y consolidación de un cuerpo de conocimientos estable, duradero, en el que se admite que es factible favorecer el aprendizaje y que podemos elaborar las mejores estrategias para ello. La investigación debe estar asociada a la innovación, es decir, a la transformación para su mejora de lo que se hace en las aulas. En ese proceso, el papel del docente no puede ni debe ser el de una conformidad pasiva frente a las orientaciones y recomendaciones prácticas de unos investigadores teóricos. Ellos también han de ser formados e incorporarse a la investigación didáctica en las materias que imparten, apropiándose de forma funcional de sus resultados más relevantes.

Ningún análisis crítico, ninguna explicación de los problemas educativos analizados, pueden darse por válidos, si no van acompañados de pruebas de que al incidir sobre las supuestas causas, se producen resultados coherentes con las hipótesis manejadas. Es decir, es necesaria una contrastación empírica mediante los instrumentos y técnicas más adecuadas.

Es preciso cuestionar aquellas investigaciones en las que los diseños van poco más allá de recoger abundantes respuestas a unos pocos cuestionarios que son sometidos seguidamente a farragosos tratamientos estadísticos, como si en ello residiera la "profundidad" de la investigación. Por el contrario, conviene insistir que en Didáctica de las Ciencias estamos interesados en grandes diferencias. De acuerdo con ello, no vamos a detenernos en averiguar, por ejemplo, si es estadísticamente significativa una diferencia de un 2% en el porcentaje de alumnos que resuelven un problema cuando se siguen dos estrategias distintas; a nadie le interesa la cuestión (que exigiría, sin duda, un aparato estadístico particularmente fino). Sí interesa, por el contrario, ver si el paso de un 20% a un 80% de éxito puede ser atribuido al uso de una estrategia en particular; pero en ese caso, las notables diferencias de los resultados y la posibilidad de trabajar con grupos grandes, permiten un tratamiento estadístico más elemental. Ello no autoriza, sin embargo, a hablar de tratamiento superficial; la profundidad, estriba en la multiplicidad de abordajes y tratamientos y la validez se mostrará en la coherencia de los resultados obtenidos mediante los mismos.

De acuerdo con lo anterior, en este tema hemos intentado realizar una primera aproximación a los conocimientos más básicos de estadística aplicada a la investigación en Didáctica de las Ciencias. También hemos intentado hacerlo mediante una metodología coherente a la utilizada en los temas tratados anteriormente, huyendo de una exposición arbitraria de fórmulas sin sentido. Ello nos ha llevado (entre otras cosas) a incluir y utilizar inicialmente las tablas correspondientes a los estadísticos utilizados, aunque con los paquetes y programas informáticos actuales prescindamos de ellas.

El estudio aquí iniciado puede continuar mediante la familiarización con paquetes estadísticos y calculadoras "on line" a la vez que profundizando en los problemas tratados y abordando otros nuevos como la determinación de la precisión y fiabilidad de las medidas, la extrapolación de resultados obtenidos con una muestra a toda la población, etc.

### Referencias bibliográficas

- BEST, J.W. (1982). *Cómo investigar en Educación*. (Madrid: Morata)
- EVANS, K.M. (1978). *Planing Small Scale Research*. NFER Publishing Company.
- GARRET, H.E. (1971). *Estadística aplicada a la educación y ciencias sociales*. (Paidos).
- HAYMAN, J.L. (1981). *Investigación y Educación*. (Paidos).
- LOVELL, K y LAWSON, K.S. (1970). *Understanding Research in Education*. University of London: Unibooks, Press Ltd)
- Madrid: Universidad Pontificia Comillas ([edit@pub.upcomillas.es](mailto:edit@pub.upcomillas.es)).
- MORALES VALLEJO, P. (2008). *Estadística aplicada a las Ciencias Sociales*.
- MORALES VALLEJO, P. (2012). El tamaño del efecto: análisis complementarios al contraste de medias. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. Facultad de Ciencias Humanas y Sociales. Disponible en <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oDelEfecto.pdf>
- SARRAMONA, J. (1980). *Investigación y estadística aplicada a la educación*. (CEAC)
- VAN DALEN, D.B y MEYER, W.J. (1971). *Manual de técnicas de investigación educacional*. (Biblioteca del educador contemporáneo. Paidos).
- VERMA, G.J. y BEARD, R.M. (1981). *What is Educational Research*. (Gower).
- WELKOWITZ, J., EWEN, B.R. y COHEN J. (1981). *Estadística aplicada a las Ciencias de la Educación*. (Madrid: Santillana).
- WILSON, et al., (1986). *Social Sciences: a third level course. Research Methods in Education and the Social Sciences*. The Open University Press: Walton Hall. Milton Keynes. MK7 6AA.

## ANEXO 1. NORMATIVA PARA ANOTACIONES BIBLIOGRÁFICAS

A continuación, a modo de ejemplo, reproducimos las normas que al respecto se dan en la revista "Enseñanza de las Ciencias" añadiendo algunos comentarios aclaratorios:

**1.** Las citas bibliográficas se relacionarán al final del artículo por orden alfabético de apellidos, indicando autor(es), año, título de la revista completo y subrayado (o en cursiva), volumen, número y páginas de que consta dicho artículo. Por ejemplo:

BANET, E. y NUÑEZ, F. (1981). Ideas de los alumnos sobre la digestión: Aspectos fisiológicos, *Enseñanza de las Ciencias*.7 (1), 35-44.

**2.** En el caso de hacer referencia a un libro, se subraya (o se pone en cursiva) el título del mismo y a continuación el lugar de edición, dos puntos y la editorial. Por ejemplo:

STENHOUSE, L. (1984). *Investigación y desarrollo del currículo*. Madrid: Morata.

**3.** Dentro del texto, las referencias se indicarán por el apellido(s) y año de publicación entre paréntesis, separados por una coma. Por ejemplo:

... si se plantea el aprendizaje como cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985). Caso de que el nombre del autor(es) aparezca explícitamente en el texto, se pondrá el año entre paréntesis. Por ejemplo: Según Solchaga (2006)...

**4.** Cuando se desea citar a alguien cuyo trabajo no se conoce directamente sino a través de otro(os), en el texto se debe indicar este hecho. Por ejemplo: Como señala García (1988), (citado por Hewson 1990)... En la relación bibliográfica final basta entonces que figure el artículo fuente (Hewson 1990).

**5.** Cuando son tres o más los autores de un trabajo se puede poner en el texto solo el primero. Por ejemplo: (Gil-Pérez et al., 1991), pero en la relación final se especifican todos:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, A, J., FURIO, M, C. y MARTINEZ, J. (1991). *Didáctica de las ciencias para la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

**6.** Cuando se trata de una tesis doctoral, se escribe subraya o se escribe en cursiva el título de la misma y a continuación se especifica en letra normal la universidad. Por ejemplo:

EDWARDS, M. (2003). *La atención a la situación del mundo en la educación científica*. Tesis doctoral. Universitat de València.

**7.** Cuando se trata de un capítulo de libro, se escribe en letra normal el título del capítulo y a continuación los encargados de su edición. Después y en cursiva o subrayado, el título del libro y, finalmente, lugar de edición y editorial. Por ejemplo:

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2005). ¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual? En Gil- Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago de Chile: OREALC/UNESCO.



**ANEXO 2. OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN**

Como ya sabemos, el coeficiente de correlación de Pearson se utiliza fundamentalmente para expresar la relación existente entre dos variables cuando esta se adapta a un modelo lineal y los datos son continuos y pueden expresarse de forma cuantitativa. No obstante existen otras situaciones en donde las variables X e Y son números ordinales. Pensemos, por ejemplo, cuando se demanda a dos colectivos distintos (por ejemplo el profesorado de ciencias de dos comunidades distintas) que clasifiquen en orden de importancia creciente un conjunto de digamos, 10 líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias. Al final tendremos dos listas (una por cada colectivo) y si queremos saber la intensidad en la relación entre los números de orden asignados, podemos utilizar entonces el coeficiente de correlación de Spearman  $r_s$

Como veremos, la expresión para calcularlo, puede obtenerse a partir de la del coeficiente de correlación de Pearson que, para efectos de cálculo, vamos a expresar como:

$$r = \frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_1^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

Vamos a designar como  $x_i$  a una línea de investigación clasificada por el colectivo de profesores de Valencia y cuando sea clasificada por el colectivo de profesores de Madrid la llamaremos  $y_i$ . De acuerdo con ello a cada línea de investigación le corresponderá un número de orden (o rango) que designaremos como  $R_i$  para  $x_i$  y como  $S_i$  para  $y_i$ , comprendido entre el 1 y el 20.

De esta forma el coeficiente r quedaría como:

$$r = \frac{\sum_1^N (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_1^N (R_i - \bar{R})^2 \cdot \sum_1^N (S_i - \bar{S})^2}} \quad (1)$$

Podemos suponer que no hay repeticiones en el número de orden y que por tanto tenemos una progresión aritmética correspondiente a la serie de los 20 primeros números naturales, de modo que tanto  $R_i$  como  $S_i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$

*¿Cómo quedaría la expresión anterior en estas condiciones?*

**1º) Determinación de  $\sum_1^N (R_i - \bar{R})^2$**

$$\sum (R_i - \bar{R})^2 = \sum R_i^2 - 2\bar{R} \sum R_i + N \cdot \bar{R}^2$$

$$\sum R_i^2 = \frac{N(N+1)(2N+1)}{6} \quad (\text{Suma de los cuadrados de los } N \text{ primeros números naturales})$$

$$\sum R_i = \frac{N(N+1)}{2} \quad (\text{Suma de los } N \text{ términos de una progresión aritmética})$$

$$\bar{R} = \frac{N+1}{2} \quad (\text{Valor medio de una progresión aritmética de } N \text{ términos})$$

## 12. Iniciación a la investigación educativa

Con lo que: 
$$\sum (R_i - \bar{R}^2) = \frac{N(N+1)(2N+1)}{6} + \frac{N(N+1)^2}{2} + \frac{N(N+1)^2}{4} = \frac{N(N^2-1)}{12},$$

y análogamente  $\sum (S_i - \bar{S}^2)$ , con lo que: 
$$\sum (R_i - \bar{R}^2) = \sum (S_i - \bar{S}^2) = \frac{N(N^2-1)}{12} \quad (2)$$

### 2º) Determinación de $\sum_1^N (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})$

Si hacemos  $D_i = R_i - S_i = (R_i - \bar{R}) - (S_i - \bar{S})$ , tenemos que:

$$\begin{aligned} \sum D_i^2 &= \sum (R_i - \bar{R})^2 + \sum (S_i - \bar{S})^2 - 2\sum (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S}) = \\ &= \frac{N(N^2-1)}{6} - 2\sum (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S}) \end{aligned}$$

con lo que despejando nos queda: 
$$\sum (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S}) = \frac{N(N^2-1)}{12} - \frac{\sum D_i^2}{2} \quad (3)$$

Sustituyendo las expresiones (2) y (3) en la (1), nos queda finalmente que:

$$r = \frac{\sum_1^N (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_1^N (R_i - \bar{R})^2 \cdot \sum_1^N (S_i - \bar{S})^2}} = \frac{12 \left[ \frac{N(N^2-1)}{12} - \frac{\sum D_i^2}{2} \right]}{N(N^2-1)} = 1 - \frac{6\sum D_i^2}{N(N^2-1)}$$

Así pues: 
$$r_s = 1 - \frac{6\sum D_i^2}{N(N^2-1)}$$

donde N es el número de parejas de valores y  $D_i$  la diferencia  $R_i - S_i$

En la deducción anterior, se ha supuesto que no existía ningún empate en la ordenación y por tanto cada serie correspondía a la de los N primeros números naturales. Sin embargo, es posible que se produzcan empates. Como se habrá visto en el tema, en este caso, hay que promediar los números de orden correspondientes.

Cuando hay muchos empates (tres o más), es necesario corregir la fórmula anterior, ya que aunque al promediar resultaría que  $\sum_1^N R_i$  (y lo mismo con S) no cambiaría, el  $\sum_1^N R_i^2$  (y lo mismo con S) ya no podríamos calcularlo como la suma de los N primeros números naturales al cuadrado. No obstante, debido a su complejidad, no trataremos aquí este caso.

En muchos casos se prefería utilizar esta prueba a la de Pearson transformando los datos cuantitativos en ordinales, debido a su mayor simplicidad de cálculo. Sin embargo, con las calculadoras científicas y los programas informáticos existentes -que permiten hallar el valor de  $r$  rápidamente- esto no tiene actualmente mucho sentido. Por el contrario, será preferible muchas veces, tratar los números de orden como puntuaciones (siempre que no existan empates) y calcular  $r$  (cuyo valor en estas condiciones siempre coincidirá con  $r_s$ ).

### ANEXO 3. OBTENCIÓN COEFICIENTE DE CORRELACIÓN BISERIAL PUNTUAL

Este coeficiente se utiliza cuando estamos interesados en la posible relación existente entre dos variables, siendo una de ellas continua (renta familiar, actitud hacia la ciencia, interés por una asignatura, etc.) y la otra dicotómica (profesión manual o no manual, hombre o mujer, aprobado o suspenso, etc.). En este caso podemos asignar a la variable dicotómica un número fijo a cada una de sus dos categorías posibles (0 a una y 1 a la otra, arbitrariamente).

Un ejemplo típico podría ser el de la actitud hacia la ciencia y el sexo. Se puede pensar en la primera variable como una variable continua **Y** de la que tenemos unas puntuaciones numéricas indicativas de la mejor o peor actitud hacia la ciencia y en la segunda como una variable genuinamente dicotómica **X**, en la que son posibles las categorías de varón **V** y de mujer **M**. Arbitrariamente se puede asignar a una de ellas (p.e la **M** el valor 0 y a la otra **V** el valor 1).  $N_0$  será el número de veces que **X** toma el valor 0 (en nuestro ejemplo, el número de mujeres) y  $N_1$  el que toma valor 1 (en nuestro ejemplo, el número de varones). En cuanto a  $\bar{y}_1$  será el valor medio de los valores que toma **Y** cuando **X** vale 1 (en nuestro ejemplo la media de las puntuaciones de actitud correspondiente a los varones), e  $\bar{y}$  el valor medio total de la variable **Y**. Finalmente,  $N$  corresponderá al número de pares de valores **X-Y**

*¿Cómo se transformará el coeficiente de correlación de Pearson, cuando se aplican al mismo las condiciones anteriores?*

Sabemos que 
$$r = \frac{\sum x_i \cdot y_i - \bar{x} \cdot \bar{y}}{s_x \cdot s_y}$$

#### 1º) Obtención de $\sum x_i \cdot y_i$

Como **X** toma el valor 0  $N_0$  veces y el valor 1  $N_1$  veces y por otra parte sabemos que el producto del valor medio por el número de valores es igual a la suma de dichos valores, podemos escribir que:

$$\sum x_i \cdot y_i = \bar{y}_1 \cdot N_1 \quad \text{ya que solo contarán los productos de parejas } x\text{-}y \text{ en los que } x \text{ sea } 1.$$

#### 2º) Obtención de $\bar{x} \cdot \bar{y}$

Como **X** vale 1  $N_1$  veces tendremos que  $\bar{x} = \frac{N_1}{N}$  con lo que  $\bar{x} \cdot \bar{y} = \frac{N_1}{N} \cdot \bar{y}$

## 12. Iniciación a la investigación educativa

### 3º) Obtención de $s_x^2$

$$s_x^2 = \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 = \frac{1^2 + 1^2 + \dots + 1^2 (N_1 \text{ veces})}{N} - \left(\frac{N_1}{N}\right)^2 = \frac{N_1}{N} - \left(\frac{N_1}{N}\right)^2 = \frac{N_1}{N} \cdot \left(\frac{N - N_1}{N}\right) = \frac{N_1 \cdot N_0}{N^2}$$

con lo que finalmente nos queda que :  $s_x = \frac{\sqrt{N_1 \cdot N_0}}{N}$

Sustituyendo las expresiones anteriores en la del coeficiente de correlación de Pearson de partida, se obtiene la del coeficiente de correlación biserial puntual  $r_{bp}$ :

$$r_{bp} = \frac{\frac{\bar{y}_1 \cdot N_1}{N} - \frac{N_1}{N} \cdot \bar{y}}{\frac{\sqrt{N_1 \cdot N_0}}{N} \cdot s_y} = \frac{N_1 \cdot (\bar{y}_1 - \bar{y})}{\sqrt{N_1 \cdot N_0} \cdot s_y} = \sqrt{\frac{N_1}{N_0}} \cdot \left( \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}}{s_y} \right)$$

En nuestro ejemplo, un valor de  $r_{bp}$  de 0'57 significaría, de acuerdo con las condiciones de partida, que existe una relación positiva entre la actitud hacia la ciencia y el ser varón. Si hubiésemos cambiado las condiciones y asignado el valor 1 a ser mujer y el 0 a ser varón manteniendo el resto igual, se habría obtenido  $r_{bp} = -0'57$ , manifestando la existencia de una relación negativa entre el hecho de ser mujer y la actitud hacia la ciencia (es decir, el mismo resultado que anteriormente).

El grado de significación estadística de este coeficiente se halla de la misma forma que en el de Pearson.

**ANEXO 4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UN GRUPO A PARTIR DE LAS DE SUBGRUPOS**

La desviación estándar  $s$ , se puede calcular mediante la expresión:  $s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2}$  (1)

donde  $\bar{x}$  es el valor medio y  $N$  el número de valores, extendiéndose el sumatorio a todos los valores  $x_i$ .

Si deseamos calcular la  $s$  correspondiente a los datos de un grupo grande que está integrado a su vez por varios subgrupos (por ejemplo alumnos de último curso de Química de un mismo centro de estudios), no tenemos más que aplicar la ecuación (1). No obstante, si resulta (como a veces sucede), que ya hemos calculado la  $s$  de cada uno de los subgrupos (en el ejemplo cada grupo de alumnos que cursan la asignatura en el centro), podríamos ahorrarnos mucho trabajo si conociéramos la forma de calcular la  $s$  del total a partir de las  $s$  de cada uno de los grupos que forman dicho total. Este cálculo no es inmediato ya que dicha magnitud no es aditiva y por tanto, no podemos hallar la media de las  $s$  para obtener la  $s$  del total.

*¿Cómo podemos calcular entonces la  $s$  del total?*

Sabemos que el cuadrado de la desviación estándar del grupo total vendría dado por:

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 \quad (2)$$

En dicha expresión conocemos  $N$  como suma de las de cada uno de los "m" grupos que cursan último año de Química en el centro ( $N_1 + N_2 + \dots + N_m$ ) y también podemos saber la media  $\bar{x}$  correspondiente a dicho total (media ponderada de las medias). Lo único que nos falta, pues, es obtener (a partir de los datos de que disponemos), la expresión del sumatorio de los cuadrados de todos los valores  $x_i$  que forman el conjunto total.

Para el grupo 1:  $\sum x_i^2 = (s_1^2 + \bar{x}_1^2) \cdot N_1$

Para el grupo 2:  $\sum x_i^2 = (s_2^2 + \bar{x}_2^2) \cdot N_2$

Para el grupo 3:  $\sum x_i^2 = (s_3^2 + \bar{x}_3^2) \cdot N_3$

...

Para el grupo m:  $\sum x_i^2 = (s_m^2 + \bar{x}_m^2) \cdot N_m$

Si sumamos todos los sumatorios anteriores, tendremos la expresión correspondiente al sumatorio que buscamos, que podemos escribir como:

$$\sum_1^m x_i^2 = \sum_1^m (s_j^2 + \bar{x}_j^2) \cdot N_j \quad (3)$$

Por tanto, el valor de  $s$  del total, podría calcularse a partir de (2) y (3) como:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_1^m (s_j^2 + \bar{x}_j^2) \cdot N_j}{N} - \bar{x}^2}$$

**ANEXO 5. OTRA FORMA DE EXPRESAR COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON**

Aunque la forma más lógica de comprender y recordar la expresión del coeficiente de correlación de Pearson es, como ya hemos dicho:

$$r = \frac{Cov}{s_x \cdot s_y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Dicho coeficiente puede adoptar otras formas, como la ya justificada anteriormente:

$$r = \frac{\frac{1}{N} (\sum x_i y_i) - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left( \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 \right) \cdot \left( \frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2 \right)}}$$

A continuación, partiremos de esta última para deducir una más, utilizada con cierta frecuencia en calculadoras estadísticas on-line:

Si en la expresión anterior multiplicamos por  $N^2$  arriba y abajo, nos queda:

$$r = \frac{N(\sum x_i y_i) - N^2 \cdot \bar{x}\bar{y}}{N^2 \cdot \sqrt{\left( \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 \right) \cdot \left( \frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2 \right)}} = \frac{N(\sum x_i y_i) - N^2 \cdot \bar{x}\bar{y}}{N \cdot \sqrt{(\sum x_i^2 - N \cdot \bar{x}^2) \cdot (\sum y_i^2 - N \cdot \bar{y}^2)}}$$

Teniendo en cuenta la expresión de cada uno de los valores medios y simplificando:

$$r = \frac{N(\sum x_i y_i) - N^2 \cdot \frac{(\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{N^2}}{N \cdot \sqrt{\left( \sum x_i^2 - N \cdot \frac{(\sum x_i)^2}{N^2} \right) \cdot \left( \sum y_i^2 - N \cdot \frac{(\sum y_i)^2}{N^2} \right)}} = \frac{N \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{N \cdot \sqrt{\left( \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N} \right) \cdot \left( \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{N} \right)}}$$

$$r = \frac{N \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{N \cdot \sqrt{\left( \frac{N \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N} \right) \cdot \left( \frac{N \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{N} \right)}}$$

Con lo que finalmente:

$$r = \frac{N \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{(N \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) \cdot (N \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

## ANEXO 6. TABLAS

TABLA DE Z (1)

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0754
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2258	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2518	0,2549
0,7	0,2580	0,2612	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2998	0,3022	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3725	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319



TABLA DE Z (2)

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000



TABLA DE "t" DE STUDENT

g.l. \ $\alpha$	0,10	0,05	0,02	0,01
1	6,34	12,71	31,82	63,66
2	2,92	4,30	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,23	2,58	3,76	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,90	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
11	1,80	2,20	2,72	3,11
12	1,78	2,18	2,68	3,06
13	1,77	2,16	2,65	3,01
14	1,76	2,14	2,62	2,98
15	1,75	2,13	2,60	2,95
16	1,75	2,12	2,58	2,92
17	1,74	2,11	2,57	2,90
18	1,73	2,10	2,55	2,88
19	1,73	2,09	2,54	2,86
20	1,72	2,09	2,53	2,84
21	1,72	2,08	2,52	2,83
22	1,72	2,07	2,51	2,82
23	1,71	2,07	2,50	2,81
24	1,71	2,06	2,49	2,80
25	1,71	2,06	2,48	2,79
26	1,71	2,06	2,48	2,78
27	1,70	2,05	2,47	2,77
28	1,70	2,05	2,47	2,76
29	1,70	2,04	2,46	2,76
30	1,70	2,04	2,46	2,75
35	1,69	2,03	2,44	2,72
40	1,68	2,02	2,42	2,71
45	1,68	2,02	2,41	2,69
50	1,68	2,01	2,40	2,68
60	1,67	2,00	2,39	2,66
70	1,67	2,00	2,38	2,65
80	1,66	1,99	2,38	2,64
90	1,66	1,99	2,37	2,63
100	1,66	1,98	2,36	2,63
125	1,66	1,98	2,36	2,62
150	1,66	1,98	2,35	2,61
200	1,65	1,97	2,35	2,60
300	1,65	1,97	2,34	2,59
400	1,65	1,97	2,34	2,59
500	1,65	1,96	2,33	2,59
1000	1,65	1,96	2,33	2,58
$\infty$	1,65	1,96	2,33	2,58

TABLA DE  $\chi^2$ 

$\alpha$ g.l.	0.001	0.005	0.010	0.025	0.050
1	10.828	7.87944	6.63400	5.02389	3.8414
2	13.816	10.5966	9.21034	7.37776	5.9914
3	16.266	12.8381	11.3449	9.34840	7.8147
4	18.467	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877
5	20.515	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705
6	22.458	18.5476	16.8119	14.4494	12.5916
7	24.322	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671
8	26.125	21.9550	20.0902	17.5346	15.5073
9	27.877	23.5893	21.6660	19.0228	16.9190
10	29.588	25.1882	23.2093	20.4831	18.3070
11	31.264	26.7569	24.7250	21.9200	19.6751
12	32.909	28.2995	26.2170	23.3367	21.0261
13	34.528	29.8194	27.6883	24.7356	22.3621
14	36.123	31.3193	29.1413	26.1190	23.6848
15	37.097	32.8013	30.5779	27.4884	24.9958
16	39.252	34.2672	31.9999	28.8454	26.2962
17	40.790	35.7185	33.4087	30.1910	27.5871
18	42.312	37.1564	34.8053	31.5264	28.8693
19	43.820	38.5822	36.1908	32.8523	30.1435
20	45.315	39.9968	37.5662	34.1696	31.4104
21	46.797	41.4010	38.9321	35.4789	32.6705
22	48.268	42.7956	40.2894	36.7807	33.9244
23	49.728	44.1813	41.6384	38.0757	35.1725
24	51.179	45.5585	42.9798	39.3641	36.4151
25	52.620	46.9278	44.3141	40.6465	37.6525
26	54.052	48.2899	45.6417	41.9232	38.8852
27	55.476	49.6449	46.9630	43.1944	40.1133
28	56.892	50.9933	48.2782	44.4607	41.3372
29	58.302	52.3356	49.5879	45.7222	42.5569
30	59.703	53.6720	50.8922	46.9792	43.7729
40	73.402	66.7659	63.6907	59.3417	55.7585
50	86.661	79.4900	76.1539	71.4202	67.5048
60	99.607	91.9517	88.3794	83.2976	79.0189
70	112.317	104.215	100.425	95.0231	90.5312
80	124.839	116.321	112.329	106.629	101.879
90	137.208	128.299	124.116	118.136	113.145
100	149.449	140.169	135.807	129.561	124.342

## COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (1)

Grados de libertad	Número de variables								
	2	3	4	5	6	7	9	13	25
1	.997 <b>1.000</b>	.999 <b>1.000</b>	.999 <b>1.000</b>	.999 <b>1.000</b>	1.000 <b>1.000</b>	1.000 <b>1.000</b>	1.000 <b>1.000</b>	1.000 <b>1.000</b>	1.000 <b>1.000</b>
2	.950 <b>.990</b>	.875 <b>.995</b>	.983 <b>.997</b>	.987 <b>.998</b>	.990 <b>.998</b>	.992 <b>.998</b>	.994 <b>.999</b>	.996 <b>.999</b>	.998 <b>1.000</b>
3	.878 <b>.959</b>	.930 <b>.976</b>	.950 <b>.983</b>	.961 <b>.987</b>	.968 <b>.990</b>	.973 <b>.991</b>	.979 <b>.993</b>	.986 <b>.995</b>	.993 <b>.998</b>
4	.811 <b>.917</b>	.881 <b>.949</b>	.912 <b>.962</b>	.930 <b>.970</b>	.942 <b>.975</b>	.950 <b>.979</b>	.961 <b>.984</b>	.973 <b>.989</b>	.986 <b>.994</b>
5	.754 <b>.874</b>	.836 <b>.917</b>	.874 <b>.937</b>	.898 <b>.949</b>	.914 <b>.957</b>	.925 <b>.963</b>	.941 <b>.971</b>	.958 <b>.980</b>	.978 <b>.989</b>
6	.707 <b>.834</b>	.795 <b>.886</b>	.839 <b>.911</b>	.867 <b>.927</b>	.886 <b>.938</b>	.900 <b>.946</b>	.920 <b>.957</b>	.943 <b>.969</b>	.969 <b>.983</b>
7	.666 <b>.798</b>	.758 <b>.855</b>	.807 <b>.885</b>	.838 <b>.904</b>	.860 <b>.918</b>	.876 <b>.928</b>	.900 <b>.942</b>	.927 <b>.958</b>	.960 <b>.977</b>
8	.632 <b>.765</b>	.726 <b>.827</b>	.777 <b>.860</b>	.811 <b>.882</b>	.835 <b>.898</b>	.854 <b>.909</b>	.880 <b>.926</b>	.912 <b>.946</b>	.950 <b>.970</b>
9	.602 <b>.735</b>	.697 <b>.800</b>	.750 <b>.836</b>	.786 <b>.861</b>	.812 <b>.878</b>	.832 <b>.891</b>	.861 <b>.911</b>	.897 <b>.934</b>	.941 <b>.963</b>
10	.576 <b>.708</b>	.671 <b>.776</b>	.726 <b>.814</b>	.763 <b>.840</b>	.790 <b>.859</b>	.812 <b>.874</b>	.843 <b>.895</b>	.882 <b>.922</b>	.932 <b>.955</b>
11	.553 <b>.684</b>	.648 <b>.753</b>	.703 <b>.793</b>	.741 <b>.821</b>	.770 <b>.841</b>	.792 <b>.857</b>	.826 <b>.880</b>	.868 <b>.910</b>	.922 <b>.948</b>
12	.532 <b>.661</b>	.627 <b>.732</b>	.683 <b>.773</b>	.722 <b>.802</b>	.751 <b>.824</b>	.774 <b>.841</b>	.809 <b>.866</b>	.854 <b>.898</b>	.913 <b>.940</b>
13	.514 <b>.641</b>	.608 <b>.712</b>	.664 <b>.755</b>	.703 <b>.785</b>	.733 <b>.807</b>	.757 <b>.825</b>	.794 <b>.852</b>	.840 <b>.886</b>	.904 <b>.932</b>
14	.497 <b>.623</b>	.590 <b>.694</b>	.646 <b>.737</b>	.686 <b>.768</b>	.717 <b>.792</b>	.741 <b>.810</b>	.779 <b>.838</b>	.828 <b>.875</b>	.895 <b>.924</b>
15	.482 <b>.606</b>	.574 <b>.677</b>	.630 <b>.721</b>	.670 <b>.752</b>	.701 <b>.776</b>	.726 <b>.796</b>	.765 <b>.825</b>	.815 <b>.864</b>	.886 <b>.917</b>

Las cifras en negrita corresponden a un riesgo  $\alpha = 0'01$  y las normales a un riesgo  $\alpha = 0'05$



## COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (2)

Grados de libertad	Número de variables							
	2	3	4	5	6	7	9	13
16	.468	.559	.615	.655	.686	.712	.751	.803
	<b>.590</b>	<b>.662</b>	<b>.706</b>	<b>.738</b>	<b>.762</b>	<b>.782</b>	<b>.813</b>	<b>.853</b>
17	.456	.545	.601	.641	.673	.698	.738	.792
	<b>.575</b>	<b>.647</b>	<b>.691</b>	<b>.724</b>	<b>.749</b>	<b>.769</b>	<b>.800</b>	<b>.842</b>
18	.444	.532	.587	.628	.660	.686	.726	.781
	<b>.561</b>	<b>.633</b>	<b>.678</b>	<b>.710</b>	<b>.736</b>	<b>.756</b>	<b>.789</b>	<b>.832</b>
19	.433	.520	.575	.615	.647	.674	.714	.770
	<b>.549</b>	<b>.620</b>	<b>.665</b>	<b>.698</b>	<b>.723</b>	<b>.744</b>	<b>.778</b>	<b>.822</b>
20	.423	.509	.563	.604	.636	.662	.703	.760
	<b>.537</b>	<b>.608</b>	<b>.652</b>	<b>.685</b>	<b>.712</b>	<b>.733</b>	<b>.767</b>	<b>.812</b>
21	.413	.498	.552	.592	.624	.651	.693	.750
	<b>.526</b>	<b>.596</b>	<b>.641</b>	<b>.674</b>	<b>.700</b>	<b>.722</b>	<b>.756</b>	<b>.803</b>
22	.404	.488	.542	.582	.614	.640	.682	.740
	<b>.515</b>	<b>.585</b>	<b>.630</b>	<b>.663</b>	<b>.690</b>	<b>.712</b>	<b>.746</b>	<b>.794</b>
23	.396	.479	.532	.572	.604	.630	.673	.731
	<b>.505</b>	<b>.574</b>	<b>.619</b>	<b>.652</b>	<b>.679</b>	<b>.701</b>	<b>.736</b>	<b>.785</b>
24	.388	.470	.523	.562	.594	.621	.663	.722
	<b>.496</b>	<b>.565</b>	<b>.609</b>	<b>.642</b>	<b>.669</b>	<b>.692</b>	<b>.727</b>	<b>.776</b>
25	.381	.462	.514	.553	.585	.612	.654	.714
	<b>.487</b>	<b>.555</b>	<b>.600</b>	<b>.633</b>	<b>.660</b>	<b>.682</b>	<b>.718</b>	<b>.768</b>
26	.374	.454	.506	.545	.576	.603	.645	.706
	<b>.478</b>	<b>.546</b>	<b>.590</b>	<b>.624</b>	<b>.651</b>	<b>.673</b>	<b>.709</b>	<b>.760</b>
27	.367	.446	.498	.536	.568	.594	.637	.698
	<b>.470</b>	<b>.538</b>	<b>.582</b>	<b>.615</b>	<b>.642</b>	<b>.664</b>	<b>.701</b>	<b>.752</b>
28	.361	.439	.490	.529	.560	.586	.629	.690
	<b>.463</b>	<b>.530</b>	<b>.573</b>	<b>.606</b>	<b>.634</b>	<b>.656</b>	<b>.692</b>	<b>.744</b>
29	.355	.432	.482	.521	.552	.579	.621	.682
	<b>.456</b>	<b>.522</b>	<b>.565</b>	<b>.598</b>	<b>.625</b>	<b>.648</b>	<b>.685</b>	<b>.737</b>
30	.349	.426	.476	.514	.545	.571	.614	.675
	<b>.449</b>	<b>.514</b>	<b>.558</b>	<b>.591</b>	<b>.618</b>	<b>.640</b>	<b>.677</b>	<b>.729</b>
35	.325	.397	.445	.482	.512	.538	.580	.642
	<b>.418</b>	<b>.481</b>	<b>.523</b>	<b>.556</b>	<b>.582</b>	<b>.605</b>	<b>.642</b>	<b>.696</b>

Las cifras en negrita corresponden a un riesgo  $\alpha = 0'01$  y las normales a un riesgo  $\alpha = 0'05$

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (3)**

Grados de libertad	Número de variables								
	2	3	4	5	6	7	9	13	25
40	.304	.373	.419	.455	.484	.509	.551	.613	.720
	<b>.393</b>	<b>.454</b>	<b>.494</b>	<b>.526</b>	<b>.552</b>	<b>.575</b>	<b>.612</b>	<b>.667</b>	<b>.761</b>
45	.288	.353	.397	.432	.460	.485	.526	5.87	.696
	<b>.372</b>	<b>.430</b>	<b>.470</b>	<b>.501</b>	<b>.527</b>	<b>.549</b>	<b>.586</b>	<b>.640</b>	<b>.737</b>
50	.273	.336	.379	.412	.440	.464	.504	.565	.674
	<b>.354</b>	<b>.410</b>	<b>.449</b>	<b>.479</b>	<b>.504</b>	<b>.526</b>	<b>.562</b>	<b>.617</b>	<b>.715</b>
60	.250	.308	.348	.380	.406	.429	.467	.526	.636
	<b>.325</b>	<b>.377</b>	<b>.414</b>	<b>.442</b>	<b>.466</b>	<b>.488</b>	<b>.523</b>	<b>.577</b>	<b>.677</b>
70	.233	.286	.324	.354	.379	.401	.438	.495	.604
	<b>.302</b>	<b>.351</b>	<b>.386</b>	<b>.413</b>	<b>.436</b>	<b>.456</b>	<b>.491</b>	<b>.544</b>	<b>.644</b>
80	.217	.269	.304	.332	.356	.377	.413	.469	.576
	<b>.283</b>	<b>.330</b>	<b>.362</b>	<b>.389</b>	<b>.411</b>	<b>.431</b>	<b>.464</b>	<b>.516</b>	<b>.615</b>
90	.205	.254	.288	.315	.338	.358	.392	.446	.552
	<b>.267</b>	<b>.312</b>	<b>.343</b>	<b>.368</b>	<b>.390</b>	<b>.409</b>	<b>.441</b>	<b>.492</b>	<b>.590</b>
100	.195	.241	.274	.300	.322	.341	.374	.426	.530
	<b>.254</b>	<b>.297</b>	<b>.327</b>	<b>.351</b>	<b>.372</b>	<b>.390</b>	<b>.421</b>	<b>.470</b>	<b>.568</b>
125	.174	.216	.246	.269	.290	.307	.338	.387	.485
	<b>.228</b>	<b>.266</b>	<b>.294</b>	<b>.316</b>	<b>.335</b>	<b>.352</b>	<b>.381</b>	<b>.428</b>	<b>.521</b>
150	.159	.198	.225	.247	.266	.282	.310	.356	.450
	<b>.208</b>	<b>.244</b>	<b>.270</b>	<b>.290</b>	<b>.308</b>	<b>.324</b>	<b>.351</b>	<b>.395</b>	<b>.484</b>
200	.138	.172	.196	.215	.231	.246	.271	.312	.398
	<b>.181</b>	<b>.212</b>	<b>.234</b>	<b>.253</b>	<b>.269</b>	<b>.283</b>	<b>.307</b>	<b>.347</b>	<b>.430</b>
300	.113	.141	.160	.176	.190	.202	.223	.258	.332
	<b>.148</b>	<b>.174</b>	<b>.192</b>	<b>.208</b>	<b>.221</b>	<b>.233</b>	<b>.253</b>	<b>.287</b>	<b>.359</b>
400	.098	.122	.139	.153	.165	.176	.194	.225	.291
	<b>.128</b>	<b>.151</b>	<b>.167</b>	<b>.180</b>	<b>.192</b>	<b>.202</b>	<b>.220</b>	<b>.250</b>	<b>.315</b>
500	.088	.109	.124	.137	.148	.157	.174	.202	.262
	<b>.115</b>	<b>.135</b>	<b>.150</b>	<b>.162</b>	<b>.172</b>	<b>.182</b>	<b>.198</b>	<b>.225</b>	<b>.284</b>
1.000	.062	.077	.088	.097	.105	.112	.124	.144	.188
	<b>.081</b>	<b>.096</b>	<b>.106</b>	<b>.115</b>	<b>.122</b>	<b>.129</b>	<b>.141</b>	<b>.160</b>	<b>.204</b>

Las cifras en negrita corresponden a un riesgo  $\alpha = 0'01$  y las normales a un riesgo  $\alpha = 0'05$

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN**

N	Nivel de significación. (Prueba de una cola)	
	0.05	0.01
4	1.000	
5	.900	1.000
6	.829	.943
7	.714	.893
8	.643	.833
9	.600	.783
10	.564	.746
12	.506	.712
14	.456	.645
16	.425	.601
18	.399	.564
20	.377	.534
22	.359	.508
24	.343	.485
26	.329	.465
28	.317	.448
30	.306	.432

## **A modo de recapitulación final:**

A lo largo de las últimas décadas se ha producido un desarrollo espectacular de la Didáctica de las Ciencias como dominio específico de investigación e innovación, que ha dado lugar al establecimiento de un cuerpo de conocimientos propio. Ello permite que en la actualidad pueda plantearse, de manera fundamentada, qué es todo aquello que conforma la competencia docente del profesorado de ciencias.

Por otra parte, tanto entre investigadores en didáctica como entre el propio profesorado, se reconoce la importancia que tiene para un aprendizaje significativo el conseguir motivar a los estudiantes desde el principio por aquello que se va a hacer, para lo cual el planteamiento de situaciones problemáticas de interés (o capaces de generarlo), tiene un papel fundamental en la enseñanza.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, hemos comenzado este libro proponiendo al principio un gran problema: *¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias para desarrollar una enseñanza de calidad?*

Esta actividad la hemos ensayado muchas veces en distintos cursos de formación, y cuando se plantea a los profesores, distribuidos en pequeños grupos de trabajo y con una perspectiva de participar en un proceso de investigación dirigida, las propuestas que se hacen suelen referirse a problemas que afectan a diversos aspectos claves para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y que, consecuentemente, se pueden relacionar con líneas de investigación básicas en la Didáctica de las Ciencias, como son la resolución de problemas, los trabajos prácticos, las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (CTSA); las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje, la evaluación o la formación científica en los contenidos que tratamos de enseñar. De esta forma es posible implicar a los participantes en el establecimiento de los contenidos del curso y en la secuenciación de los mismos.

El desarrollo de los contenidos anteriores en un curso de formación del profesorado se enfrenta, no obstante, a algunas dificultades importantes que conviene tener en cuenta:

- ✓ En primer lugar la existencia de concepciones espontáneas sobre diferentes elementos como la naturaleza de la ciencia, los conceptos científicos, las relaciones CTSA, la evaluación, etc.
- ✓ No es suficiente conocer las insuficiencias de la enseñanza tradicional, basada fundamentalmente en la transmisión verbal de conocimientos por parte del profesor ante alumnos pasivos, para conseguir modificarla. Su elevada coherencia interna y el hecho de que afecte a todos los aspectos claves para el proceso de aprendizaje del alumno, hace carentes de sentido las propuestas de cambios puntuales y muestra la necesidad de conseguir que el profesorado integre los conocimientos de didáctica de las ciencias formando también un bloque global y coherente.
- ✓ Otra dificultad es, a menudo, la escasa coherencia existente entre las propuestas metodológicas que se realizan en los cursos de formación y la propia metodología de trabajo que se lleva a cabo en dichos cursos.

Tratar de salir al paso de las dificultades anteriores ha sido una preocupación presente en la elaboración de todo este proyecto, lo que nos ha llevado a plantear, en primer lugar, el problema de las concepciones simplistas sobre la ciencia y el trabajo científico, aspecto fundamental con implicaciones importantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias que afectan a otros aspectos claves del mismo como son los trabajos prácticos, la resolución de problemas o los conocimientos teóricos. En el caso del aprendizaje de los conceptos científicos se ha dado una importancia especial al tema de las ideas alternativas, coherentemente con su carácter de ser, durante mucho tiempo, una de las primeras líneas de la investigación didáctica y estar asociada al surgimiento y desarrollo de la Didáctica de las Ciencias como cuerpo de conocimientos. Se trata, además, de uno de los temas capaz de despertar un mayor interés entre los profesores, tanto en formación como en activo. No obstante, a lo largo del proyecto, hemos estudiado además otras concepciones espontáneas que también pueden constituir graves obstáculos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, como las que se refieren a las relaciones CTSA y otras que afectan a la propia evaluación.

Los temas que conforman este proyecto son temas de didáctica de las ciencias pero también son temas en los que se intenta mostrar el carácter de cuerpo global y coherente de conocimientos de la misma. Por ello, se ha insistido, por ejemplo, en la necesidad de no tratar separadamente las actividades prácticas, la resolución de problemas y los conocimientos teóricos. Así mismo, se ha insistido en la necesidad de integrar en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias otros aspectos como las relaciones CTSA y las actitudes y de contemplar todos ellos (estos y los anteriores) en el proceso de evaluación.

Finalmente, como se habrá podido apreciar, el proyecto pretende ser, desde el comienzo, coherente con las propuestas de todo tipo que en él se intentan fundamentar, y se plantea como un proceso de investigación dirigida, que parte de un gran problema del cual se derivan otros. Los temas son programas de actividades que siempre comienzan con una serie de cuestiones o problemas de interés con los que se justifican los contenidos y su secuenciación. A menudo en estas actividades se contempla la realización o réplica, por parte de los profesores en formación, de pequeños trabajos de investigación e innovación.

El tema 10 del proyecto versa sobre contenidos que los futuros profesores tendrán que manejar en sus clases. Por eso se pretende que sirva para profundizar en su formación científica y para analizar cómo es posible llevar a cabo en la práctica las propuestas que en los temas anteriores se han tratado de fundamentar, propuestas que no han de verse como “un modelo” para enseñar ciencias, sino como un intento de aproximar a los futuros profesores a la Didáctica de las Ciencias. Como es lógico, esta aproximación no se reduce a la apropiación de un cuerpo de conocimientos ya elaborado sino que, por el contrario, ha de estar abierta también a la incorporación de nuevos elementos y resultados procedentes, sobre todo, de la investigación, especialmente de aquellos en los que exista un mayor consenso y que conecten con problemas concretos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, de interés para el profesorado. Con el último tema, se pretende facilitar una primera aproximación del profesorado a dicho proceso de investigación, siguiendo la misma metodología que en los temas anteriores.

Esperamos que los contenidos de este libro puedan ser de utilidad al mayor número de profesores de ciencias para mejorar su enseñanza y para percibirla como una tarea compleja, pero también, pese a los obstáculos, apasionante y llena de satisfacciones.