



**DÉCIMO SIMPOSIO
DE INVESTIGACIÓN
EN EDUCACIÓN EN FÍSICA**
6, 7 y 8 OCTUBRE 2010 | POSADAS - MISIONES

EL DOBLE CONO PARA ENSEÑAR HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS ÚTILES PARA EL APRENDIZAJE DE FÍSICA

Diego Petrucci¹ y Paula Bergero²

¹ Instituto de Desarrollo Humano, Universidad Nacional de General Sarmiento y CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires; ² Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires y Departamento de Física Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.

dpetrucc@ungs.edu.ar

RESUMEN

En este artículo discutimos sobre algunas nociones metodológicas que resultan útiles para aprender ciencias naturales¹ y presentamos una propuesta de enseñanza de estas nociones para el caso de física. La actividad propuesta ha sido utilizada en contextos formales y no formales y está basada en un marco pedagógico constructivista que tiene en cuenta las concepciones alternativas. El docente coordina las actividades y guía la tarea mediante preguntas que los estudiantes piensan, proponen y responden. Se describe la actividad a partir de una observación no participante y se analizan los informes elaborados por los estudiantes. Se encontró que los estudiantes utilizan algunas herramientas metodológicas sin dificultades, emplean otras de modo implícito y un tercer grupo prácticamente no es utilizado. La propuesta es compatible con visiones actualizadas y críticas sobre la actividad científica y la naturaleza de la ciencia, coincidentes con las recomendaciones de los especialistas (Driver, 1996; Lederman, 2007). Este trabajo puede resultar de interés para docentes de ciencias naturales de diferentes niveles en ámbitos educativos formales y no formales.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias naturales; aprendizaje de ciencia; metodología científica; propuesta de clase.

ABSTRACT

In this article we discuss some methodological concepts that are useful for learning natural science². We also present a proposal for teaching these concepts to the case of physics. The proposed activity has been used in formal and non-formal education and is based on a constructivist pedagogical framework that takes into account the alternative conceptions. The teacher coordinates the activities and guides the task by asking questions that the students think, propose and answer. It has been observed the implementation of the activity and examined the reports prepared by students. It was found that students use some methodological tools without difficulty, use other implicitly and a third group is hardly used. The proposal is consistent with updated views and criticism of scientific activity and nature of science, coincident with the recommendations of specialists (Driver, 1996; Lederman, 2007). This work may be of interest for natural science teachers at different levels in areas formal and informal education.

Keywords: natural science teaching, learning science, scientific methodology, proposed class.

¹ Por ciencias naturales nos referimos a Astronomía, Biología, Física, Geología y Química.

² We use natural science to refer to Astronomy, Biology, Chemistry, Geology and Physics.

INTRODUCCIÓN

Hace ya tiempo que los especialistas en didáctica de las ciencias acuerdan en que el aprendizaje de ciencias incluye, además de conceptos, contenidos metodológicos (Gil Pérez, 1988). Aprender ciencias implica no solo conocer los contenidos conceptuales específicos sino también desarrollar la capacidad de operar con ellos, por ejemplo para resolver problemas. La resolución de problemas es una tarea utilizada habitualmente para promover aprendizajes de contenidos y también para evaluarlos (Perales, 2000). Para operar con el conocimiento científico, además de utilizar matemática es necesario emplear herramientas metodológicas. Estas herramientas forman parte de la metodología científica.

En este trabajo se presenta una visión actual de metodología científica y se argumenta que algunas herramientas metodológicas, según esta visión, al ser enseñadas explícitamente facilitan el aprendizaje de contenidos propios de las ciencias naturales. Se discuten distintas opciones de enseñanza de estas herramientas. Luego se presenta una actividad de aula que tiene por objeto introducir aquellas herramientas metodológicas que, en general implícitamente, utilizamos al enseñar y aprender ciencias. Para describir fielmente la actividad se efectuó una observación de la misma y se analizaron los resultados obtenidos, mediante el estudio de informes solicitados a los alumnos. Finalmente se discute el enfoque de la actividad y se presentan las conclusiones.

LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA

En este apartado se explicitará la visión propuesta sobre metodología científica. Muchos cursos y textos continúan presentando una perimida visión de actividad científica como proceso de descubrimiento de leyes que la naturaleza esconde. Pozo y Gómez Crespo (1998) indican que, según esta visión, *"el conocimiento científico se basa en la aplicación rigurosa del 'método científico' que debe comenzar por la observación de los hechos, de la cual deben extraerse las leyes o principios"*. Esta imagen se completa, muchas veces, mediante la enunciación de sus pasos o etapas. Encontramos un ejemplo de esta visión deformada en la definición de *Ciencia* que actualmente da Wikipedia (2010) (¡que además incluye la inducción!):

1. Observación.
2. Descripción.
3. Inducción.
4. Hipótesis.
5. Experimentación.
6. Demostración o refutación de las hipótesis.
7. Comparación universal.

Existen diferentes versiones en las que los pasos y el orden suelen cambiar. Sin embargo, el tema no vuelve a tratarse durante el resto del curso. Podría pensarse que esto ocurre porque la metodología de la ciencia no tiene ningún papel en el aprendizaje de ciencias naturales, sino que este método se utilizó para descubrir el conocimiento, que se presenta a los estudiantes ya acabado. Resumidamente, esta conclusión se argumentaría del siguiente modo. La fuente de todo conocimiento está centrada en la observación imparcial de los hechos, los cuales constituyen la base neutral de la ciencia. Así, la actividad científica consiste en la aplicación sistemática de "el método" científico, que permite generalizar a partir de observaciones para generar leyes. A partir de ese momento y por medio de deducciones, se elaboran las predicciones de fenómenos particulares. Siempre según esta visión, las teorías científicas son concebidas como descriptivas del mundo tal como es en sí y, por lo tanto, esas leyes son descubiertas (existían previamente, pero estaban ocultas). En consecuencia, la ciencia se presenta como objetiva, neutral e independiente de factores histórico-sociológicos; con una evolución lineal y acumulativa que progresa siempre hacia el descubrimiento de las teorías verdaderas. En este marco, a la historia de la ciencia se le imponen los patrones del presente, es decir que se evalúa la ciencia de otras épocas a la luz y con referencia al conocimiento actual.

La idea de "el método" científico como conjunto de reglas aplicables de modo universal tiene una conexión muy débil con la ciencia. Es un "sentido común epistemológico" que combina elementos del empirismo-inductivismo del siglo XIX con aspectos del positivismo lógico de principios del siglo XX (Lombardi, 1998; Adúriz Bravo, 2009) aunque se pone de manifiesto de manera mucho más ingenua que las corrientes epistemológicas mencionadas. El modo de trabajar de los investigadores resulta más complejo. Según concepciones epistemológicas actuales, el conocimiento científico se construye a través de procesos de elaboración de teorías y modelos que intentan dar sentido a un campo de referencia experimental (un área de conocimiento, un conjunto de fenómenos) como afirma Tiberghien (1994). Desde la Didáctica de las Ciencias, algunos autores (Pozo y Gómez Crespo, 1998)

marcan la necesidad de hacer continuamente hincapié en el carácter dinámico y perecedero del conocimiento científico, poniendo en evidencia su dependencia del contexto histórico y su condición provisoria. Desde esta visión, la metodología científica se concibe como un proceso abierto, cuyas fases se determinan en función del área de aplicación, de las problemáticas a investigar, del tipo de estudio y de sus objetivos, del contexto histórico y los intereses de los investigadores o la comunidad, de los recursos disponibles, etc. Al adoptar esta visión, ciertos aspectos de la metodología de la ciencia resultan relevantes en el aprendizaje de las ciencias y también para promover en los estudiantes una adecuada valoración de la ciencia, coincidente con el enfoque CTSA. A continuación presentamos una propuesta de enseñanza de metodología científica coherente con esta perspectiva.

LA ENSEÑANZA DE LAS HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS EN UN CURSO DE FÍSICA

A continuación desarrollamos una propuesta de enseñanza de la visión actualizada de metodología científica presentada en el párrafo anterior. Las ideas que sintetizan esta visión con vistas a ser enseñada en cursos de ciencias naturales son:

- La metodología científica es concebida como un proceso en el cual el científico, provisto de un conjunto de herramientas donde cada una tiene una utilidad específica, decide cuándo emplearlas sin restringir un único orden de uso.
- No existe un método como secuencia de pasos fijos a seguir, sino que las estrategias empleadas son complejas y dependen de varios factores: área de aplicación, tipo y objetivos del problema o de la investigación, recursos disponibles, etc.
- El conocimiento científico se construye a través de un proceso de elaboración de teorías y modelos que intentan dar sentido a un campo de referencia experimental.
- El conocimiento científico tiene un carácter dinámico, perecedero y depende del contexto histórico.

Sin embargo, resulta difícil pensar en brindar esta visión de metodología científica a los estudiantes, mientras están intentando aprender y entender conceptos científicos como la aceleración o la célula. Pero algunos aspectos de esta metodología, en particular algunas herramientas, resultan útiles para el aprendizaje de ciencias, pues facilitan el camino.

Las herramientas metodológicas

A continuación listamos aquellas herramientas metodológicas que consideramos más importantes por su contribución en los primeros pasos del aprendizaje de ciencias, en particular de Física (la variación de las herramientas metodológicas según las diferentes disciplinas se tratará en las conclusiones):

Sistemas. En un curso de ciencias naturales se utilizan simultáneamente diferentes acepciones:

- *Sistema u objeto de estudio.* Es la parte del universo que se recorta para estudiar. La noción de objeto de estudio permite ir incluyendo otras herramientas: estado, fronteras, proceso, acción, interacción y conservación. Para facilitar la apropiación de los estudiantes de esta herramienta, es preferible comenzar llamándola *objeto de estudio*, para evitar abusar de la palabra "sistema" al inicio de un curso. El objeto de estudio se convertirá en un sistema cuando el objeto esté conformado por varias partes (sistema de partículas, o sistema termodinámico).
- *Sistema de unidades.* Establecen patrones de medida de las diferentes magnitudes, para poder hacer comparaciones.
- *Sistema de coordenadas.* Es un elemento matemático. En física puede ser ubicado en el espacio para realizar mediciones.

Modelos. Este término es utilizado en distintos contextos, incluso científicos, con una gran variedad de significados. Acordamos con llamar *modelo* a una *representación simplificada de un objeto de estudio* donde sólo se consideran algunas de las características originales del objeto, las que resultan relevantes para los objetivos perseguidos.

- La noción de partícula (o punto material) es un ejemplo sencillo de modelo.
- Otros modelos físicos son: sistemas de partículas, cuerpos rígido, elástico y plástico, fluidos ideal y real, gases ideales y reales, etc.

Teorías. Una teoría debe explicar un campo o dominio del universo. Incluye un sistema de leyes y procedimientos, coherentes entre sí. Según posturas epistemológicas actuales, no puede probarse ni demostrarse que una teoría científica sea verdadera ni falsa, la comunidad científica debate y decide si aceptarlas y utilizarlas. Toda observación está cargada de teoría previa del observador.

Lenguaje. Una característica del conocimiento científico es la asignación de significados precisos a los términos teóricos. Algunas palabras de uso habitual tienen un significado disciplinar, como por ejemplo: trabajo y energía. El significado preciso permite debatir ideas evitando confusiones. En un curso de ciencias se debe fomentar que los alumnos defiendan con argumentos sus ideas, pero el docente debe cuidar que todos asignen los mismos significados a los términos teóricos.

Lenguaje matemático. Para las ciencias experimentales es una herramienta que permite:

- Deducir, razonar, llegar a conclusiones, especialmente en los casos complejos.
- Realizar predicciones.
- Describir y relacionar estados y procesos.

Observación. Consiste en captar la apariencia, cualidades o magnitudes relevantes del fenómeno u objeto estudiado. Es un proceso que comienza cuando se decide observar. La teoría guía la observación, pues indica de qué está compuesto el mundo, a qué se le debe prestar atención. La información obtenida mediante la observación es procesada empleando la teoría.

Descripción y clasificación. Es una de las actividades habituales en ciencia. Ramas enteras de la ciencia se dedican a describir, como la cinemática o la taxonomía biológica.

Explicación y predicción. Son considerados dos de los fines de la ciencia. En los cursos de ciencias la explicación juega un rol importante (podría decirse que el estudiante intenta entender para poder explicar). Sin embargo la predicción habitualmente es una herramienta poco utilizada en los cursos, ocasionalmente se les pide a los alumnos predicciones en actividades de laboratorio.

Problema y pregunta. Un problema es una situación incierta a resolver (Perales, 2000). En los cursos de ciencia se los utiliza con el fin de que los estudiantes apliquen el conocimiento para resolver situaciones. En este contexto podemos considerar a una pregunta como un problema cuyo enunciado está implícito.

Magnitudes y medición. Es un aspecto sobredimensionado en los inicios de algunos cursos y libros de texto (véase, por ejemplo, Resnick y Halliday, 1970). Nuestra propuesta es ir introduciendo estas nociones a medida que sean necesarias para la tarea que se está desarrollando.

Experimentación. Son ensayos, pruebas que en un marco confirmatorio consisten en testear hipótesis y en un marco exploratorio, obtener nuevas o mejores descripciones del campo de referencia empírico estudiado. Desde la didáctica, se suele llamar *experiencias* a los experimentos para observar fenómenos, sin involucrar mediciones, es decir con fines demostrativos o exploratorios.

Debate, argumentación, razonamiento. Las actividades de intercambio de ideas permiten la construcción colectiva del conocimiento científico. La argumentación es una de las características que diferencia a la ciencia de otras formas de conocimiento que se validan mediante la autoridad.

Esta lista no es exhaustiva, pues hay otras herramientas como por ejemplo *hipótesis, análisis e interpretación de datos o conclusiones*.

Posibles secuenciaciones de enseñanza

A continuación se presentan tres opciones para la enseñanza de las herramientas propuestas en cursos de ciencias.

a) La opción más habitual, es la **enseñanza implícita**. Las herramientas metodológicas tradicionalmente se aprenden gracias a una extensa práctica en la cual se siguen algunos procedimientos aparentemente arbitrarios, contribuyendo a formar una imagen distorsionada de la ciencia. En las investigaciones sobre las habilidades de expertos y novatos para la resolución de problemas se ha encontrado que un experto no posee meramente un compendio de información desordenada. Un gran número de esquemas ejemplares le sirven como un índice que lo guía hacia los conocimientos pertinentes. Estos esquemas fructíferos orientan la interpretación de un problema, de la solución y agregan piezas cruciales de información (Larkin et al, 1980). Esta capacidad es probablemente lo que suele llamarse "intuición física". Interpretamos que esta

intuición lleva al experto a resolver problemas tomando atajos y haciendo suposiciones implícitas que resultan puntos oscuros e incomprensibles para los novatos. Según Redish (2005) los expertos a menudo no logran reconocer exactamente cómo utilizan la matemática en Física. En un contexto de enseñanza, si las herramientas metodológicas están implícitas, el profesor toma atajos y hace suposiciones y los estudiantes (los novatos) sólo lograrán realizar resoluciones por imitación, sin que necesariamente comprendan qué están haciendo.

b) Una segunda opción es **enseñarlas durante el desarrollo** del curso. Esta propuesta es preferible a la primera, pues evita la crítica anterior, pero tiene la dificultad de requerir que los estudiantes construyan conocimiento metodológico simultáneamente al conceptual, con las dificultades que ello conlleva.

c) La opción que resta, en la cual se encuadra nuestra propuesta, es **introducirlas al principio del curso**, en un breve bloque previo a las clases referidas a contenidos disciplinares. Comenzar un curso trabajando explícitamente sobre las herramientas metodológicas representa una ventaja al momento de aprender a resolver problemas. En este sentido, nuestra idea es que las primeras clases del curso estén dedicadas a reflexionar sobre algunos aspectos metodológicos, partiendo de una actividad concreta, con un dispositivo que funcione como disparador. Es una presentación de las herramientas metodológicas a partir de un ejemplo en el que se manifiesta la necesidad de utilizarlas para resolver una situación problemática para los estudiantes. La propuesta no es realizar un estudio exhaustivo ni memorístico de estos conceptos y herramientas, sino hacer una primera introducción a las herramientas metodológicas y su utilización. Los estudiantes irán ampliando sus usos y significados durante el desarrollo del curso, a medida que las vayan empleando durante el aprendizaje de los contenidos conceptuales.

Las herramientas metodológicas durante los cursos

En este apartado se dan algunos ejemplos en los que las herramientas metodológicas pueden utilizarse en cursos de física. A medida que los estudiantes van conociendo y aprendiendo a utilizar las herramientas, obtienen pautas sobre caminos a seguir para analizar situaciones físicas y resolver problemas. Estos caminos no siempre son únicos, pues dependen del contenido y de los significados que involucra la tarea, pero le brindan al estudiante una estructura que guía los razonamientos y facilita la toma de decisiones. A continuación se presentan dos ejemplos de utilización de las herramientas metodológicas en la secuencia de resolución de problemas de tipo heurístico (Perales, 2000) para:

Cinemática de la partícula:

- Realizar un esquema de la situación (representación pictórica).
- Identificar el objeto de estudio.
- Modelizarlo como partícula.
- Elegir un marco de referencia (cuerpo al que se va a referir el movimiento o donde se ubica el observador).
- Ubicar un sistema de coordenadas y elegir las unidades a utilizar (notar que no necesariamente el sistema de coordenadas, que es una entidad matemática, está ubicado fijo al marco de referencia, que es una entidad física³).
- Identificar las condiciones iniciales.
- Plantear las representaciones analíticas (funciones de posición y velocidad) o realizar o interpretar representaciones gráficas.
- Operar con las representaciones gráficas y analíticas hasta obtener el resultado buscado.
- Interpretar físicamente los resultados.

Dinámica de la partícula:

- Identificar el objeto de estudio.
- Modelizarlo como partícula.
- Elegir un marco de referencia inercial.
- Elegir, explicitar y emplear un sistema de coordenadas y unidades.
- Identificar con qué otros objetos interactúa el objeto de estudio.
- Identificar las fuerzas actuantes sobre el objeto de estudio.

³ Por ejemplo, en el caso de cinemática circular o de un péndulo, el sistema de coordenadas se suele ubicar fijo al objeto, es decir en un marco de referencia no inercial, que no es el que se usa para referir los movimientos en el marco de la Mecánica Clásica.

- Realizar un diagrama de cuerpo aislado (representar al objeto como un punto, colocar el sistema de coordenadas y dibujar allí las fuerzas⁴).
- Reconocer y aplicar matemáticamente las condiciones iniciales.
- Utilizar álgebra vectorial (componer o descomponer analíticamente).
- Plantear la sumatoria de fuerzas según componentes.
- Aplicar la noción de equilibrio (dinámico).
- Utilizar álgebra de ecuaciones.
- Interpretar físicamente los resultados.

Se pueden elaborar secuencias como estas para otros temas. Las mismas les indican a los estudiantes un camino para resolver problemas. Incluso si se traban durante una resolución o si sospechan que algo anda mal, puede resultarles útiles para revisar si cometieron errores.

Las herramientas metodológicas son útiles también para explicitar los **criterios de evaluación**. Conocer estos criterios permite a los estudiantes sintonizar sus esfuerzos de aprendizaje con los objetivos que proponen los docentes. A continuación se presenta un ejemplo de **criterios de evaluación para Dinámica de la partícula** de acuerdo a si un estudiante:

- Elige apropiadamente los objetos de estudio y sus fronteras en situaciones problemáticas.
- Utiliza el modelo de partícula para describir movimientos simples.
- Elige marcos de referencia inerciales para la resolución de problemas.
- Ubica sistemas de coordenadas para la resolución de problemas.
- Analiza interacciones entre objetos de estudio y/o entre un objeto de estudio y su entorno.
- Caracteriza el estado de un objeto de estudio a través del análisis de su cantidad de movimiento.
- Aplica los conceptos de posición, velocidad y aceleración en situaciones simples (en una y dos dimensiones).
- Aplica las leyes de Newton en situaciones simples.
- Descarta soluciones sin sentido físico.

A continuación presentamos la actividad de enseñanza de las herramientas metodológicas, pero antes explicitaremos la metodología empleada en su estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La actividad fue diseñada en el Museo de Física de la Universidad Nacional de La Plata. Suele ser llevada a cabo por un docente (en ocasiones dos) con grupos de hasta 30 estudiantes que pueden tener desde 10 años hasta adultos. Como se afirmó en el resumen, ha sido implementada en distintos contextos. La descripción que aquí se detalla corresponde a la implementación en noviembre de 2009 en el Taller de Ciencia, que forma parte de las actividades de ingreso a la Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. Los 23 estudiantes que participaron de la actividad eran ingresantes a la Universidad que aún no habían definido carrera ni orientación. La clase estuvo a cargo de una docente del Museo de Física de la UNLP, invitada especialmente para la actividad y contó con la colaboración de un docente de la UNGS. Se realizó una observación no participante con registro escrito. En el relato que presentamos a continuación describimos fielmente el desarrollo de esa clase incluyendo algunas (no todas, pues se haría extenso y tedioso) participaciones de los estudiantes.

Los estudiantes conformaron 10 grupos de entre 2 y 4 miembros. Cada grupo entregó una semana después de la clase un informe que tenía como consigna relatar la secuencia metodológica seguida. Presentamos un análisis de los informes elaborados, a modo de evaluación de la actividad.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

1. Presentación de la tarea. El docente inicia la clase contando que mientras ordenaba el Museo de Física, encontró un dispositivo y que no sabe cómo funciona ni para qué sirve. Necesita averiguarlo para poder decidir con cual colección inventariarlo y solicita para ello la colaboración de los estudiantes.

⁴ La propuesta de representar las fuerzas siempre en el diagrama de cuerpo aislado está motivada en que en los esquemas y dibujos no siempre está claro sobre qué objeto de estudio están aplicadas las fuerzas. Esto da lugar a confusiones y errores por parte de los estudiantes, particularmente en la aplicación de la 3ª ley.

2. Presentación del dispositivo. El docente les muestra una parte del dispositivo, el doble cono (Ver Figura 1). Luego cuenta que estaba cerca de este otro objeto (muestra el marco) y pregunta qué harían con esto. Luego de dos o tres sugerencias de los estudiantes, a las que el docente accede haciendo lo sugerido, pregunta "¿y si lo pongo acá?" ubicando el doble cono sobre la parte media del marco. Antes de liberarlo, deja que los estudiantes digan lo que suponen que ocurrirá. La única predicción que surge es que se desplazará hacia la parte baja.

3. Realización de la experiencia. Se realiza la experiencia. Ante el asombro de todos, el doble cono parece subir (en el Anexo se presentan algunas consideraciones físicas sobre el movimiento del doble cono). Inmediatamente los estudiantes intentan explicar lo sucedido: "está roto", "tiene un peso interno". El docente comenta, en tono lúdico que "los pesos externos no existen". Permite entonces que los estudiantes examinen el dispositivo. Alguien comenta "es como una rampa". Uno más ensaya una explicación "Es el ángulo, por el peso y las tablas no puede levantarse". El docente aprovecha para marcar que "cuando uno explica algo hay que usar un lenguaje en común, para que todos entiendan". El mismo alumno sigue intentando dar una explicación. Parece que percibe qué ocurre, que tiene una explicación, pero no logra comunicarla. El docente continúa con la idea del lenguaje en común y propone ponerle un nombre al objeto. Un estudiante propone llamarlo "cono" y el docente propone "doble cono" mostrando que está formado por dos conos.

4. Formulación del problema. Un estudiante plantea que el doble cono "desafía la gravedad". Entonces el docente pregunta ¿qué es lo que queremos explicar? ¿Qué observamos? Los estudiantes contestan: "que sube", y expresan un presupuesto teórico: "tendría que caer". El docente escribe en la pizarra: "¿Por qué sube?" y plantea:

D (Docente): Un problema es una observación de algo que va en contra de nuestro sentido común. ¿Cuál es la hipótesis⁵?

Varios estudiantes: No hay.

Uno agrega: No todo sube.

Luego de un silencio el docente pregunta

D: ¿Cuál es el presupuesto teórico?

El mismo estudiante contesta: Todo baja.

D: Entonces hay que explicar por qué sube.

El estudiante que había ensayado la explicación desafía: En realidad no sube.

D: ¿Quién dice que sube? ¿Que baja? ¿Que no sube ni baja?

Otro estudiante ensaya un intento de explicación que nadie entiende. El docente decide postergar la discusión sobre si sube o baja y emplea una estrategia diferente para poner en evidencia la necesidad de contar con un lenguaje en común para poder comunicarse. Reorienta el debate con una pregunta:

D: Supongamos que le tienen que explicar a alguien por teléfono qué pasa con el doble cono, ¿qué le dirían?

En los intentos de explicación surgen nuevas preguntas, algunas incluyen propuestas de experimentar ("¿y si inclinamos el marco?"). Se vuelve a la pregunta de si sube o baja y no se

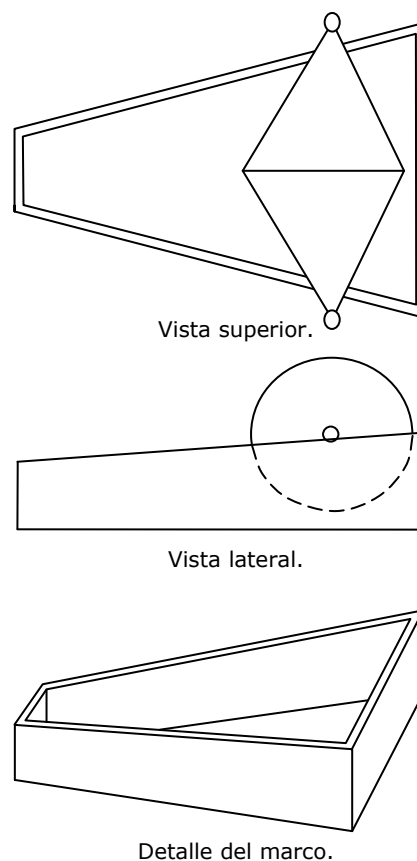


Figura 1: el doble cono.

⁵ Tanto las nociones de problema, hipótesis y presupuesto teórico fueron tratadas previamente en el curso en una actividad referida a ciencias sociales.

llega a un acuerdo. Como el debate no avanza, el docente propone resolver la cuestión como lo haría un científico: midiendo. Pide que "saquen sus instrumentos de medición". Un estudiante mide con una regla las alturas en los extremos del marco. El docente pregunta cómo se resuelve la pregunta a partir de la medición realizada. Otro alumno nota: "falta el cono". El docente pregunta ahora, explícitamente "¿cuál es mi objeto de estudio?". Se llega aquí a la conclusión de que debe medirse la altura inicial y final del doble cono sobre el marco. Luego de varios intentos, en los cuales surgen dificultades varias como la elección de una línea de referencia para medir, la elección de un punto sobre el doble cono y la precisión del instrumento, se determina que el doble cono en realidad baja.

El docente expresa entonces que "ya no tenemos que explicar por qué sube" sino "por qué parece que sube". Los estudiantes ensayan explicaciones. Cuando surge que la forma es un aspecto relevante, el docente coloca el doble cono sobre sus dos manos que se encuentran cerca entre sí y muestra cómo al separar las manos el doble cono baja. La explicación satisface al grupo.

4. Cierre: reflexión metodológica

Como cierre el docente propone explicitar los pasos seguidos⁶:

- Observación del dispositivo.
- Elaboración de predicciones.
- Observación del fenómeno.
- Descripción del fenómeno.
- Unificación del lenguaje.
- Formulación del problema: una observación que contradice nuestro presupuesto teórico.
- Debate en busca de una solución al problema.
- Experimentación identificando posibles variables relevantes. La experimentación no pretendió comprobar, sino explorar.
- Cuestionamiento a la pregunta inicial y formulación de una nueva pregunta.
- Determinación del objeto de estudio.
- Medición. Establecimiento de un marco de referencia. Precisión de los instrumentos.
- Reformulación del problema.
- Desarrollo de la explicación o respuesta.
- Comprobación o validación de la solución.

Para cerrar la actividad, el docente puede relacionar la experiencia con otros fenómenos similares, como lo que ocurre al apoyar una bola de billar entre dos tacos dispuestos en "V" (juntando su lado más delgado). También puede mostrar un dispositivo casero⁷. En algún momento, si el nivel de los estudiantes lo permite, se puede justificar por qué no es posible usar el modelo de partícula para elaborar una explicación satisfactoria.

ANÁLISIS DE LOS INFORMES ELABORADOS POR LOS ESTUDIANTES

Hemos identificado las herramientas utilizadas en cada informe, diferenciando cuando eran nombradas explícitamente y cuando eran empleadas de modo implícito. Citamos ejemplos de ambos usos, aclarando entre paréntesis y en cursiva cuál es la herramienta y si la referencia es explícita o implícita: "En primer lugar procedemos a observar los objetos de estudio (*objeto de estudio, mención explícita*) y para analizarlos mejor procedemos a atribuirles un nombre a cada uno de los objetos (*lenguaje, referencia implícita*)"; "Se observó el fenómeno y los elementos que lo componen: doble cono y caja (*sistema de estudio, mención implícita*)". En la Tabla 1 se presentan las frecuencias de aparición de las herramientas en el conjunto de los 10 informes recolectados. Debido a que se analiza cuántos grupos utilizan cada herramienta, se cuenta una vez por informe, aunque la hayan empleado en más ocasiones.

⁶ Una variación de esta actividad puede ser que sean los estudiantes, en grupos, quienes identifiquen los pasos seguidos, debiendo luego presentar un afiche al resto de la clase o un informe al docente.

⁷ Este puede construirse cortando los conos de botellas plásticas de gaseosa, uniéndolos y llenándolos de agua o arena o también con dos embudos pegados por la parte de mayor diámetro. El marco puede confeccionarse con madera o un material similar. La medida del marco dependerá de las del doble cono.

Para analizar estos datos, hemos dividido a las herramientas utilizadas en tres categorías:

- Herramientas que fueron utilizadas explícitamente por muchos grupos. En esta categoría figuran: *pregunta, medición, observación, presupuesto teórico, análisis de datos y conclusión*. Puede considerarse que estas herramientas fueron protagonistas de la tarea, pero también es una pauta de que los estudiantes pueden utilizarlas sin mayores dificultades.
- Herramientas que fueron utilizadas por muchos grupos, pero mayormente de modo implícito. En esta categoría encontramos: *descripción, sistema y objeto de estudio*. Es decir que los estudiantes utilizan estas herramientas pero no necesariamente de modo explícito.
- Herramientas de baja frecuencia de aparición. Aquí se ubican: *explicación, lenguaje, experimentación e hipótesis*. Estas herramientas son poco utilizadas por los estudiantes, incluso de modo implícito. Se evidencian como de mayor dificultad para ser aprehendidas. La aparición de *hipótesis* en esta lista, no sorprenderá al docente experimentado. Excluimos *problema* de esta categoría debido a que la consideramos equivalente a pregunta.
- Finalmente algunas herramientas no fueron utilizadas por ningún grupo. En este grupo se encuentran *predicción, lenguaje matemático y modelo*.

	Explícitas	Implícitas	Total
Pregunta	9	0	9
Medición	9	0	9
Observación	6	3	9
Presupuesto teórico	6	3	9
Análisis de datos	6	2	8
Conclusión	6	1	7
Descripción	1	6	7
Sistema de estudio	1	6	7
Objeto de estudio	1	5	6
Problema	1	3	4
Explicación	2	0	2
Lenguaje	1	1	2
Experimentación	1	1	2
Hipótesis	0	1	1

Tabla 1: frecuencias de utilización de las herramientas metodológicas.

DISCUSIÓN SOBRE EL ENFOQUE DE LA ACTIVIDAD.

En primer lugar, se puede apreciar que el **problema** en la clase no fue impuesto a partir de la autoridad del docente, pero tampoco surgió por inspiración espontánea. El problema se evidenció por una contradicción entre la observación y las ideas previas de los estudiantes. Un problema, cotidianamente es una situación de incertidumbre (Perales, 2000). En el caso de las ciencias naturales un problema se puede originar por contradicciones entre la observación y la teoría. En la enseñanza de las ciencias los problemas se les suelen presentar (o imponer) a los estudiantes ya enunciados, incluso modelizados e idealizados. En la actividad propuesta, el problema debe ser formulado, tarea importante en la investigación científica, pero rara en las aulas.

Una vez que el problema está formulado, es necesario elegir y explicitar cuál será el **objeto de estudio**. Una causa frecuente de equivocación de los estudiantes cuando resuelven problemas, suele ser la elección implícita o inadecuada del objeto de estudio durante la tarea. Cuando la elección es implícita, se corre el riesgo de considerar distintos objetos de estudio en diferentes etapas de la resolución, lo cual lleva a obtener soluciones incorrectas. Por ejemplo al decidir qué fuerzas están actuando, se puede pensar en un objeto para algunas fuerzas y en dos objetos formando un sistema para otras, lo que conduce a cometer errores. Una vez que los estudiantes se familiaricen con la noción de objeto de estudio se van incorporando otras herramientas metodológicas durante el desarrollo del curso: estado del objeto (por ejemplo, equilibrio, no equilibrio), fronteras, procesos, interacción entre objetos y conservación. Luego, al estudiar sistemas de partículas o termodinámica se puede introducir la noción de sistema de estudio, compuesto por varios objetos.

Por otra parte, partir del conocimiento cotidiano permite comenzar la actividad desde un lenguaje llano, que todos utilicen sin dificultades. Al presentársele a los estudiantes una situación problemática, espontáneamente éstos plantean explicaciones y posibles caminos a seguir, basándose en sus ideas previas, y en muchos casos en **nociones alternativas** (Driver, 1996). El docente coordina estos debates sin favorecer ninguna de las posturas sostenidas por los alumnos. Se fomenta además que cada opinión sea argumentada y se favorece el logro de acuerdos (Cordero, 1999) que no deben ser necesariamente los correctos desde el punto de vista científico, como por ejemplo, al afirmar que el doble cono sube. El objetivo de esta coordinación apunta tanto a debatir sobre el problema para hallar una solución, como a acordar una metodología de trabajo

para llegar a conclusiones comunes. La intención es que los estudiantes sean conscientes de que poseen ideas previas y que no son comunes a todos, cada uno tiene su propia opinión y sus propios argumentos. Esto no significa que deban explicitar sus nociones alternativas al comenzar el tratamiento de cada tema del curso. Por su parte, se debe tener cuidado de no descalificarlas, pues resulta violento y agresivo para quien las expresa. En este punto el docente puede señalar que, al igual que ocurre con la comunidad científica, es necesario contar con un **lenguaje** en común para que el grupo lleve adelante la tarea (se deben compartir los significados). Y además que las herramientas conceptuales de la comunidad científica quedan en un pie de igualdad con las ideas previas. La búsqueda de consensos en el grupo debe desembocar en acuerdos que permitan resolver el problema de un modo que resulte satisfactorio para todos los integrantes del grupo. En el caso de adolescentes y adultos, se debe también permitir la discusión sobre los contenidos procedimentales y actitudinales del mismo, pues se encuentran en condiciones de argumentar sus posturas y desarrollan de este modo visiones más críticas y analíticas.

El abordaje de la **medición** y sus consideraciones difiere del que suele usarse en muchos cursos universitarios de física general. En ellos, el primer trabajo práctico de laboratorio consiste en que cada estudiante debe realizar una medición (típicamente la longitud de la mesa del laboratorio o la longitud de un resorte del que pende un peso) un número de veces indicado por el docente, y con un instrumento también incluido en la consigna, para luego estimar el valor correcto y el error cometido. Toda esta tarea resulta arbitraria, tediosa y poco motivadora para los estudiantes. En cambio, en la actividad propuesta en este trabajo la **medición** aparece como una herramienta útil para contestar la pregunta y su implementación da lugar a que el docente comente algunas características importantes del proceso y su lugar en la actividad científica. El interrogante acerca de si el doble cono sube o baja parece que se puede responder fácilmente a partir de una medición, sin embargo la implementación de la medida (en este caso la determinación de la altura inicial y final del doble cono) no resulta tan sencilla sino que involucra la toma de un conjunto de decisiones. Una vez provistos de un instrumento de medición, la elección de qué medir y desde dónde no resulta trivial para los alumnos. Los errores más frecuentes que se han identificado son:

- Medir la altura de la base en sus extremos (ignorando el doble cono).
- Medir la altura del doble cono en ambos extremos pero eligiendo distintos puntos sobre el mismo.

Incluso una vez obtenidas las medidas, no siempre les resulta inmediato concluir si el cono sube o baja. Otra dificultad que surge durante la medición es la precisión del instrumento disponible (regla graduada y/o papel y lápiz) y la habilidad del operador, ocurriendo que surge espontáneamente la necesidad de repetir la medida. De este modo, los estudiantes cuentan con una experiencia directa del rol que juega la medición en un problema sencillo, que podrán conectar con un tratamiento posterior -más riguroso- sobre medición y teoría de errores.

El **humor** en esta actividad, permite generar un ambiente de confianza y libertad, basado en vínculos sanos, tanto entre los estudiantes como con el docente. Se logra así generar un clima de clase (y de trabajo) agradable y distendido. El uso del humor se complementa con el respeto por las ideas previas debido a que ambas permiten democratizar el poder en el aula. El clima logrado, lejos de inhibir, fomenta la participación, debido a que todas las preguntas son válidas, facilitando la búsqueda de un lenguaje en común, que todos dominen por igual. Se evita así imponer el lenguaje científico desde un principio. Este lenguaje, que inicialmente sólo domina el docente, lo pone en un lugar de privilegio como el poseedor de la verdad. Esta imposición lo lleva a detentar el poder del aula.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una visión actual sobre la metodología científica. En este marco hemos identificado las herramientas metodológicas que resultan útiles para el aprendizaje de ciencias. Hemos dado argumentos a favor de comenzar los cursos de ciencias con una tarea dedicada a introducir y utilizar las herramientas metodológicas. También hemos mostrado cómo estas herramientas se pueden utilizar a lo largo del curso. Hemos expuesto ejemplos de su utilización en la resolución de problemas de cinemática y de dinámica y para explicitar criterios de evaluación. La actividad descrita favorece visiones de actividad científica y de naturaleza de la ciencia, actuales y coherentes con las recomendaciones de especialistas. Además, resultan compatibles con el resto del curso y más aún resultan útiles.

La perspectiva de metodología científica presentada incluye herramientas comunes a las ciencias naturales: Física, Química, Biología, Geología, Astronomía y Ciencias de la Tierra, si bien la frecuencia de utilización difiere según la disciplina⁸. Por ejemplo, la clasificación es una herramienta que cobra especial importancia en la Biología. En ese sentido, se podría constituir en un contenido transversal en las escuelas, tanto en el nivel primario como en el secundario. Estas nociones establecen una estructura que ayudará a los estudiantes a comprender los conceptos científicos, desarrollar una forma de razonar, de resolver problemas y de tomar decisiones. Por ello, sostenemos la importancia de trabajarlas de modo explícito en los cursos.

Actividades similares a la del doble cono pueden desarrollarse con otros objetos que funcionen como caja negra. Un ejemplo es el *huevo loco* "un dispositivo construido de poliuretano expandido, con forma de huevo, de un tamaño de aproximadamente 20 cm de largo y 10 cm en su parte más ancha, que lleva incrustado un trozo de plomo en uno de sus vértices, de manera que el equilibrio se logra con el dispositivo apoyado sobre ese extremo" (Dumrauf y Espíndola, 2002) y el *pichi* una lata con un dispositivo en su interior "diseñado de manera que se fuera enrollando al hacer rodar la lata. Una vez que la lata se detiene en su recorrido, rueda en sentido contrario..." (Cappannini et al., 1997: p. 195). Al imaginar qué es lo que hace que se comporten así, se están elaborando modelos que deben explicar el comportamiento, y si se puede, predecir nuevos.

Al analizar los informes de los estudiantes, nos encontramos con un conjunto de herramientas que han utilizado sin dificultades (*pregunta, medición, observación, supuesto teórico, análisis de datos y conclusión*). Estas herramientas pueden utilizarse como sostén metodológico del aprendizaje de ciencias.

Hemos identificado también algunas herramientas metodológicas que son utilizadas por los estudiantes principalmente de modo implícito (*descripción, sistema y objeto de estudio*). Consideramos que una estrategia a seguir para que los estudiantes gradualmente tomen conciencia de su utilización, es que el docente las vaya identificando a lo largo del curso.

En relación a las herramientas metodológicas que no fueron utilizadas por ningún grupo, caben dos análisis diferentes. Con respecto a la *predicción*, si bien explicar y predecir son dos de los fines que se atribuyen a la ciencia, los estudiantes universitarios identifican el primero pero no el segundo (Petrucci y Dibar Ure, 2002). Probablemente la ausencia de la predicción en el imaginario de los estudiantes esté relacionada con que es una de las tareas que menos se les solicita, pues un estudiante en un examen debe explicar, mientras que predecir, es una tarea que raramente deben realizar en los escasos prácticos de laboratorio. Cabe aclarar que no consideramos la resolución de un problema como una predicción, pues se suele identificar más bien como un cálculo, que de hecho es lo que suele solicitar el enunciado. Con respecto a *modelo*, es una herramienta que si bien no se trabajó en esta clase, se puede utilizar, en función del nivel de desarrollo de los estudiantes y la duración de la actividad. Algo similar ocurre con el *lenguaje matemático*, no se utilizó en esta actividad, aunque sería posible. Llevaría más tiempo, pues no resulta sencillo comprender el rol de las herramientas matemáticas en física, principalmente el del álgebra (Pérez, 2006). Esta compleja discusión pertenece a una línea de investigación en pleno desarrollo. En términos generales, la actividad sugerida puede modificarse para adaptarla a distintas necesidades, objetivos, contextos y grado de desarrollo de los alumnos.

Finalmente, la actividad del doble cono posee la virtud de ser fácilmente evocable durante el desarrollo del curso, por docentes y estudiantes, lo cual -de hecho- ocurre con frecuencia. En este sentido, puede retomarse -por ejemplo- durante el tratamiento de energía, para analizar el proceso considerando los estados energéticos que asume el doble cono o en dinámica circular, modelizando al doble cono como un cuerpo rígido.

REFERENCIAS

Cappannini, O., Cordero, S., Menegaz, A., Mordegli, C., Segovia, R. y Villate, G. (1997). *Metodología científica en el aula: una experiencia innovadora en la formación docente*. V Congreso Internacional sobre la investigación en la Didáctica de las Ciencias. Murcia.

⁸ Esta característica pudimos comprobarla cuando junto con otros autores Cappannini, Dumrauf, Espíndola, Menegaz y Mengascini elaboramos en 2004 una serie de Documentos de Apoyo Curricular para la Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires que, lamentablemente, nunca se editaron.

Cordero, S. (1999). Aprender com outros: um estudo das interações entre alunos em aulas universitárias de física. Tesis de Maestría, Universidad Federal Fluminense, Brasil.

Driver, R., Leach, J., Millar and R. Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. London: Open University Press.

Dumrauf, A. G. y Espíndola, C. R. (2002). "El Huevo Loco": Una Propuesta de Introducción a la Metodología Científica en el Aula. *Alambique*. N° 34. pp. 116-120.

Larkin, J. McDermott, Simon, D. P. & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*. 208, pp. 1335-1342.

Lederman, N. G. (2007). "Nature of Science: Past, Present, and Future". En Abell, S. K. y Lederman, N. G. *Handbook of Research on Science Education*. LEA Publishers, New Jersey.

Lombardi, O., (1998) "La noción de modelo en ciencias", en *Educación en Ciencias*. Vol. II, nº 4, pp. 5 a 13.

Perales, F. J. (2000). La resolución de problemas. Síntesis Educación, Madrid.

Pérez, S. M. y Dibar Ure, M. C. (2006). De los números al álgebra en cinemática elemental: Análisis de un cuestionario, en Actas del X EPEF. Londrina, Brasil.

Petrucci, D. y Dibar Ure, M.C. (2001). Imagen de la ciencia de estudiantes universitarios: una revisión y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*. 19 (2), pp. 217-229.

Pozo, Juan I. y Gómez Crespo, M. A., (1998), *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Morata.

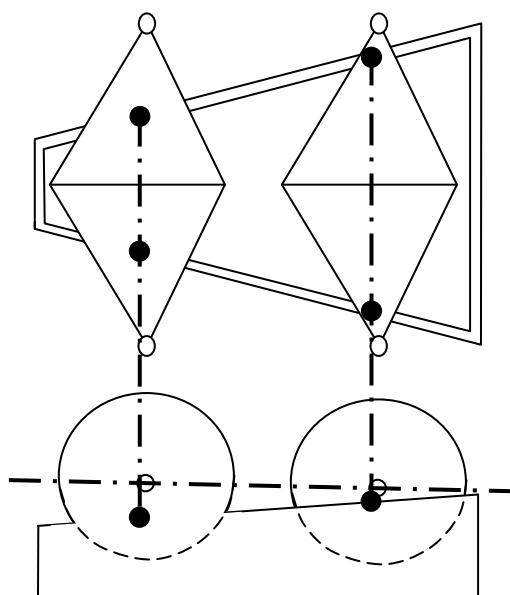
Resnick, R. y Halliday, D. (1970). *Física, Parte I*. Ed. Compañía Editorial Continental, México. Primera edición en español de la segunda edición en inglés.

Tiberghien, A. "Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations", en *Learning and instruction*, Vol. 4, pp. 71 a 87, 1994.

Wikipedia (2010). http://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia#Método_científico. Sitio consultado en febrero de 2010.

ANEXO: CONSIDERACIONES FÍSICAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL DOBLE CONO.

Se pueden analizar el movimiento del doble cono desde diferentes perspectivas. La medición de la altura del eje que se realiza durante la clase está asociada a medir la altura del **centro de gravedad** del objeto de estudio, que implícitamente se modeliza como una partícula. Se determina así que el doble cono baja, creando la ilusión de que sube hacia la parte más alta del marco. En el dibujo se han marcado los puntos de apoyo del doble cono y se han trazado líneas que permiten apreciar que el objeto desciende. Desde un **enfoque energético**, el objeto alcanza el equilibrio cuando la energía potencial gravitatoria es mínima. Si el doble cono subiera, y dado que la única forma de energía presente es la mecánica, se violaría el principio de conservación. Apelando a la **dinámica del cuerpo rígido**, el marco ejerce sobre el doble cono dos fuerzas (una sobre cada cono) verticales, que en la figura pasan levemente a la izquierda del eje del doble cono. Tomando la suma de momentos en el centro de masa del objeto, estas fuerzas generan un torque que acelera angularmente al doble cono (la otra fuerza actuante es el peso, que pasa por el centro de gravedad) de modo que rueda sin deslizar sobre el marco, hasta que se frena al hacer tope.



Dado que los estudiantes no están en condiciones de comprender las dos últimas consideraciones durante una clase introductoria a un curso, se recomienda su abordaje con el curso más avanzado.