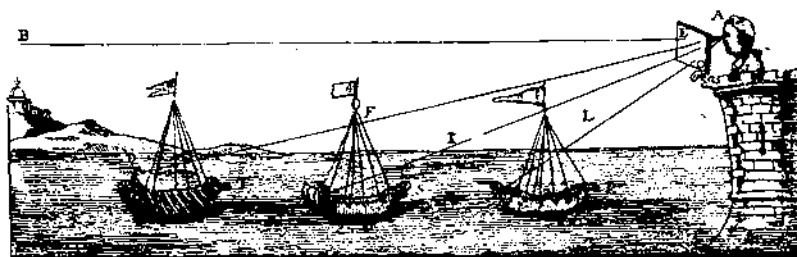


INVESTIGACION



Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

LA DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR, ¿PARA QUÉ?⁽¹⁾

VIENNOT, L.
L.D.P.E.S. París VII

(1) Una primera versión de este trabajo se presentó en el Congreso de la Sociedad Francesa de Física celebrado en Niza en 1985.

Versión española de J. Carrascosa.

SUMMARY

Starting with a review of some typical pieces of research related to students' reasonings in Physics, this paper tries to fix some aspects of the evolution of the researchers' concerns in this field and to introduce a critical reflection on how the results obtained could be used. The selected examples and reflections on them refer to the beginning of college education, though not exclusively.

INTRODUCCIÓN

A partir de una retrospectiva de algunas investigaciones típicas, en este artículo se intenta situar ciertos aspectos de la evolución de las preocupaciones de los in-

vestigadores en el campo que concierne a los razonamientos de los estudiantes en física, a la vez que introducir una reflexión crítica sobre lo que conviene hacer

con los resultados obtenidos. Los ejemplos elegidos, así como las reflexiones que sustentan, se centran en el comienzo de la enseñanza superior, si bien no se limitan a éste.

En primer lugar, cabe recordar los principios convenidos entre casi la totalidad de quienes reivindican la didáctica, es decir, entre aquellos que han elegido la enseñanza como objeto de investigación. Resumiendo de manera esquemática, se trata de:

— estudiar los aspectos de la enseñanza de la física relacionados con el contenido de esta asignatura. Por esa razón, quedan relativamente excluidos del campo de la investigación determinados aspectos susceptibles de ser pertinentes, tales como la motivación, el contexto sociopsicológico, etc...

— permitir al profesor pasar del registro de la competencia personal y de la convicción íntima a aquel otro de los conocimientos (relativos a la enseñanza, claro está) predictibles y transmisibles. Dicho de otro modo, se trata de organizar las condiciones de una transmisión de competencia mediatizada por un corpus de conocimientos adquiridos, y controlables, por una colectividad. Ello conlleva, obviamente, una exigencia de rigor metodológico. Se habrá podido observar en ello el deseo de calcar la didáctica del modelo de las ciencias exactas. Una utopía, sin duda, de la que vamos a analizar los avatares.

1. ESTUDIOS SOBRE LOS RAZONAMIENTOS DE LOS ESTUDIANTES EN FÍSICA

Al objeto de discernir los múltiples componentes que intervienen en el proceso de enseñanza, es natural que se persiga aislar, en primer lugar, los conocimientos previos del estudiante y, particularmente, aquellos de origen extraescolar. Por esta razón, razonamientos espontáneos, naturales, preconceptos, conceptos erróneos, estructuras alternativas, han constituido el objeto de numerosos estudios desde hace 10 años, véase a este respecto, por ejemplo, McDermott (1983), en un impulso estimulado, en algunos casos, por el ejemplo ilustre de Piaget, y en otros, por el deseo de dejar atrás este incómodo precedente. La mecánica, la cual voy a evocar en primer lugar, constituye un campo privilegiado para este tipo de investigaciones. Mediante el ejemplo que daré a continuación, el de la electrocinética, se podrá ver la evolución del estatus de tales estudios y cómo los razonamientos estudiados desbordan el marco de los conocimientos ingenuos del debutante.

Se trata, cada vez más, de analizar los razonamientos utilizados en física, sean o no legítimos, aquéllos que tejen toda la trama del aprendizaje de un físico y que impregnan a menudo las explicaciones que recibe o que da.

Una tal cartografía de los razonamientos no sólo es necesaria para situar el nivel de partida de los estudian-

tes neófitos. Lo es también para analizar la trayectoria de los mismos, es decir, para evaluar, de hecho, toda enseñanza.

Este proceso, tan imposible como necesario, consistente en medir los efectos de un intento de enseñanza y en tratar de situar precisamente las causas específicas de cada uno de ellos está repleto de dificultades. De entre ellas una, que será más tratada concretamente aquí, es interpretar las respuestas de los estudiantes.

Mediante algunos ejemplos de estudios acerca del razonamiento en física que figuran a continuación, podremos reconocer la permanencia de los siguientes aspectos:

— Preocupados por ser predictivos, nos solemos interesar por tendencias generales del razonamiento, susceptibles de manifestarse en estudiantes de extracción diversa. Con ello se evita, a cambio, toda pretensión a una descripción determinista del pensamiento individual.

— Nos sentimos particularmente atraídos por los errores sorprendentes en tanto que detectores de los razonamientos propios de los estudiantes, sin excluir por ello que dichos razonamientos puedan comportar aspectos conformes a la teoría enseñada.

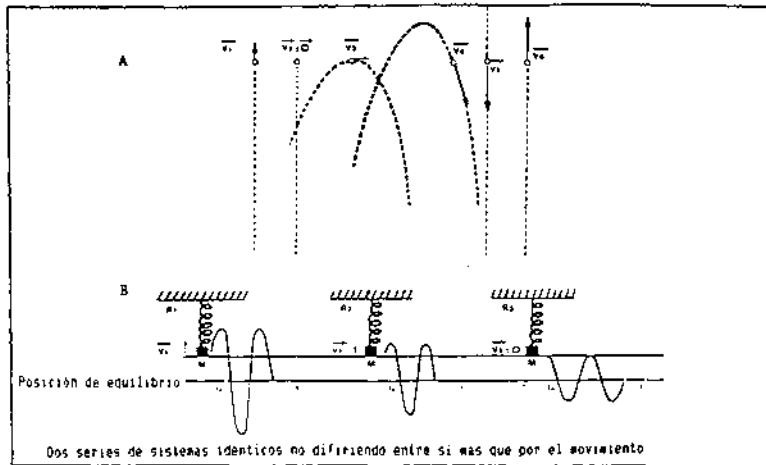
— Tendemos a producir una descripción organizada de las características de los razonamientos de los estudiantes y no un simple catálogo de errores. Así pues, se trata de hallar preguntas de la misma familia que den lugar a respuestas que presenten los mismos grupos de características. A esto le sigue una etapa ulterior de interpretación en términos de «todo sucede como si...». Me habría gustado analizar más en detalle el status de esta etapa, pero hay que dejarlo para las discusiones que puedan surgir posteriormente.

Empecemos, pues, por la mecánica.

Factor de fracasos crónicos en la enseñanza, la mecánica es a la vez un campo en el que la experiencia y el lenguaje corriente, pesan por completo. Podíamos sospechar de la existencia de formas de razonamiento de origen extraescolar, ampliamente compartidas, enormemente resistentes a la enseñanza tradicional. Un buen número de investigadores se han interesado por este aspecto (McDermott 1983). Una vuelta atrás a un estudio ya antiguo, entre los primeros que hemos llevado a cabo (Viennot 1977), me permitirá ilustrar los métodos a la vez que los tipos de resultados de esta clase de investigación.

Dos preguntas que han sido muy útiles permiten mostrar de manera sencilla lo que anteriormente se entendía por «familia de preguntas». Se trata (véase figura 1) de series de sistemas idénticos; pelotas de un malabarista en un caso, masas colgadas de muelles en el otro. En ambos casos, el análisis estático no permite que aparezca diferencia alguna (posiciones, masas, rigidez, longitudes en reposo) entre los elementos de una

figura 1



misma serie. Únicamente difieren los movimientos, sugeridos por las figuras. La pregunta trata de las fuerzas que actúan, en un momento determinado por la foto, sobre cada masa de una misma serie, habiendo sido claramente especificado que la resistencia del aire no entra en consideración. Dichas fuerzas sólo dependen de las posiciones, por lo que resultan idénticas. Los resultados resumidos en la Tabla I, los comentarios recogidos entre grupos de estudiantes de origen diverso, ponen en evidencia el papel altamente perturbador de los movimientos en la evaluación de las fuerzas. «Las fuerzas son diferentes, puesto que lo son los movimientos», «... es nula en la cima de las trayectorias»; abundan las respuestas de este tipo. Otras respuestas más elaboradas incluso buscan justificaciones que violan la evidencia pero que no obstante permiten una base de cálculo, como ésta: «x es diferente (caso de los muelles) por lo que $F = -Kx$ también lo es». La presencia

numerosa de respuestas correctas a una pregunta análoga, pero tratándose esta vez de la energía potencial, conduce a replantear las escalas tradicionales de dificultades (Tabla 2).

Tabla I
Respuestas relativas a las situaciones A y B.

Número de alumnos	SITUACIÓN REFERENCIA	Curso	Las fuerzas son...		
			=	≠	sin respuesta
19	A	Último (secundaria)	39%	55%	6%
36		primero (universidad)	58%	42%	0%
226		primero (univ Belg)	44%	54%	2%
20	B	primero universidad	70%	30%	0%
49		tercero (universidad)	27%	55%	8%
95		segundo (universidad)	48%	40%	12%
14		último secundaria (6.º)	64%	36%	0%
14		primero (univ. G.B.)	57%	43%	0%
226		primero (univ. Belg.)	37%	49%	14%

Tabla II
Respuestas relativas a las situaciones A y B.

Número de alumnos	SITUACIÓN REFERENCIA	Curso	Las energías potenciales son...		
			=	≠	sin respuesta
36	A	primero universidad	81%	6%	13%
226		primero (univ Belg)	86%	13%	1%
20		primero (universidad)	85%	5%	10%
49	B	tercero (universidad)	82%	18%	0%
14		primero (univ. G.B.)	76%	21%	0%
226		primero (univ. Belg.)	63%	29%	8%

A partir de este tipo de cuestionario se ha podido establecer una descripción del razonamiento espontáneo en dinámica elemental, el cual deja traslucir el uso de diversos registros de razonamiento en función de las preguntas formuladas. Uno de ellos es, a grandes rasgos, conforme a la teoría newtoniana. El otro, mucho más próximo del ímpetu, utiliza una noción híbrida entre fuerza y energía, atribuida al objeto y susceptible de ir consumiéndose; se hablará, entonces, de fuerza del objeto como especie de provisión de causa ligada a la velocidad, mitad escalar y mitad vectorial. Precisamente esto es lo que permite a los proyectiles ascender y hace que las masas colgadas de los muelles se alejen de su posición de equilibrio. El análisis causal es a menudo casi animista, sobre todo si se trata de Acción-

Reacción. Ésta no está precisamente localizada ni en el tiempo ni en el espacio. Estas fuerzas ilegítimas, en relación directa con el «movimiento» y no así con la aceleración, aparecen principalmente cuando las fuerzas reales de interacción parecen incompatibles con el movimiento —por ser de sentido opuesto, o no ser simultáneamente nulas.

La dependencia del registro utilizado respecto de la pregunta formulada ha sido confirmada por otros investigadores, especialmente Clément (1982). Ésta se manifiesta de modo muy claro, por ejemplo, en los resultados al cuestionario del péndulo, el cual pertenece a la misma serie que los precedentes. Se ofrecen distintas situaciones cinemáticas para un péndulo y se pide efectuar un análisis de las fuerzas. La figura 2 resume el cuestionario y las respuestas correctas. En la última columna aparecen los errores previsibles según cuanto

antecede y efectivamente observados en primer curso de Facultad, así como las frecuencias, que figuran en la Tabla 3.

Uno de los rasgos que más resaltan de este cuadro es que las sub-preguntas, clasificadas en orden creciente de frecuencias de «fuerzas ilegítimas» observadas en las respuestas, suscitan, en idéntico orden, menciones cada vez menos frecuentes de las fuerzas de interacción reales, peso y tensión. Da la impresión de que no se inventan fuerzas por placer, sino más bien por el hecho de que las que se presentan no convienen (véase por ejemplo la aparición de fuerzas centrífugas en P4 de la figura 2).

Dadas las limitaciones de espacio de un artículo no voy a desarrollar con más detenimiento este estudio particular. Recapitemos los principales resultados obte-

figura 2
Análisis dinámicos del péndulo simple.

	Datos cinemáticos	Análisis pedido	Errores frecuentes
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P ₄			

Tabla III
Respuestas relativas a un péndulo simple en función de la situación dinámica propuesta (cf. figura 2).

N = 60	FUERZAS EXTRAÍDAS DE LA VELOCIDAD	FUERZAS DE INTERACCIÓN REALES	TENSIÓN	FUERZA CENTRÍFUGA
P ₁	12%	78%	0%	0%
P ₃	26%	70%	0%	10%
P ₂	28%	58%	0%	2%
P ₄	27%	25%	12%	18%

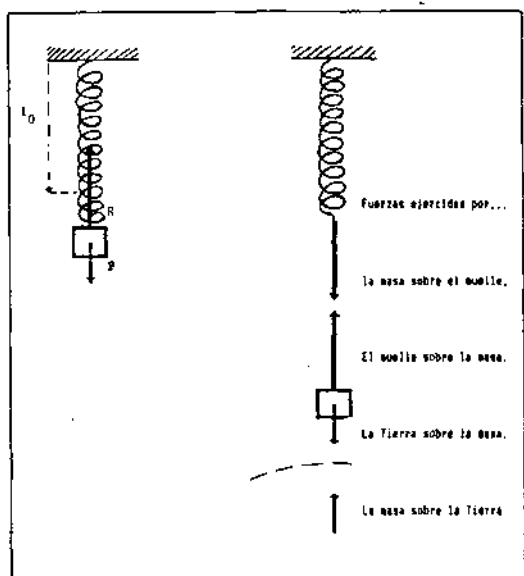
nidos y que, por otra parte, anuncian los de los siguientes estudios.

1. La descripción obtenida, en cuanto que sintética y predictiva, le permite al profesor orientarse en los razonamientos de sus alumnos y despejar las categorías de dificultades más pertinentes.

Por ejemplo, si éste aprecia una fuerza centrífuga sobre el esquema pretendidamente Galileano de una honda, se percatará, ayudado por el estudio de E. Saltiel relativo a los conceptos cinemáticos (Saltiel 1978, Saltiel y Malgranje 1980), de que quizás no se trate de un cambio referencial implícito, sino más bien de una atribución a la piedra de la fuerza que ésta ejerce sobre el cordel. Así pues trabajará, en primer lugar, en los puntos de aplicación. Con tal fin, experimentará sin duda la validez de los esquemas ampliados de fuerzas que hacen que desaparezca toda ambigüedad (figura 4).

figura 4

Interacciones y esquemas ampliados.



Un ejemplo de esquematización más o menos explícita de una misma situación: El esquema ampliado es menos propicio a la aparición de los siguientes comentarios erróneos: «la masa ejerce su peso sobre el muelle», «la reacción del muelle vence a la acción de la masa».

2. Pero, sobre todo, los cuestionarios elaborados son en sí mismos instrumentos de enseñanza, ya que permiten tomar conciencia al estudiante así como al profesor de una dificultad claramente despejada por sí misma, es decir, de un punto crítico del aprendizaje. Si el razonamiento espontáneo resiste tanto y paralelamente a las adquisiciones escolares, se debe también al hecho de que éste rara vez se confronta en este marco. No se trata de desraizarlo, lo cual es harto probable ilusorio, sino de aprender a clasificar y, por consiguiente, de tomar conciencia en primer lugar. Si queremos, en palabras de Marc Serrero, educar la intuición, hay que empezar por ahí sin duda. Creo poco en la eficacia de artículos de investigación para crear las condi-

ciones de lo que anteriormente llamaba «transmisión» de competencia. En cambio, unas buenas preguntas susceptibles de evidenciar de una manera algo chocante una determinada tendencia del razonamiento (Saltiel y Viennot 1983) han resultado ser, con la experiencia, un excelente motor para la reflexión crítica de los profesores así como para una discusión en trabajos dirigidos a los estudiantes.

3. Es altamente conveniente señalar que la dependencia observada entre registro de razonamiento y tipo de pregunta formulada es constitutiva de la descripción propuesta. No se trata de decir que el razonamiento queda perturbado por la pregunta formulada: el razonamiento es el conjunto pregunta-respuesta. Si únicamente educamos el razonamiento en determinados tipos de preguntas, hay que saberlo, por lo menos.

Nos podemos asegurar, por ejemplo, de que el estudiante escribe correctamente la relación fundamental de la dinámica con una variable tiempo correctamente manifestada. Con ello no habremos asegurado la correcta comprensión de que el movimiento —dicho de manera esquemática— no tiene memoria, es decir que, en un campo de determinada fuerza dada, velocidades y posiciones iniciales de los móviles bastan para argumentar todo lo que sigue. A tal efecto, hay que proveer ejercicios que comparen situaciones que no difieran sino por el pasado del movimiento. La experiencia demuestra que ejercicios así dan lugar, incluso con alumnos bien equipados formalmente, a numerosas violaciones de esta idea tan fácil en cambio de expresar.

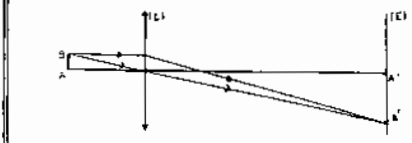
Otro ejemplo mucho más reciente: la tesis de A. Fawaz ha demostrado claramente cuántos alumnos de primer año de facultad que empezaban a saber encadenar fórmulas sobre diferentes lentes quedaban inermes ante el hecho de tener que prever el efecto de un oculador central sobre una lente (figura 5). Los ejemplos de este tipo abundan. Finalmente vemos perfilarse la cuestión de fondo: la de los objetivos de enseñanza. Estos estudios relativos a los razonamientos naturales, del tipo del que acabo de hablar, y que hacen que aparezcan explícitamente categorías de cuestionarios y de dificultades, alimentan por esa misma razón, una reflexión en cuanto a los objetivos: ¿qué queremos que los estudiantes hayan comprendido?

Un estudio de Closset sobre electrocinética, nos conduce a ampliar el debate. En un principio, la perspectiva es idéntica. El trabajo se fundamenta en dificultades observadas en el proceso de enseñanza y constataadas por distintos investigadores (véase las *Actes de la Rencontre de Ludwigsburg*, 1984). La corriente parece, por lo que respecta a los adolescentes, agotarse a lo largo del circuito. ¿Había pues que estudiar la noción de intensidad y sus representaciones en los adolescentes? El estudio tomó otra dirección. La figura 6 resume de modo algo lapidario lo esencial de éste. Antes de detallar el contenido, señalemos que todo un abanico de competencia fue explorado, desde adolescen-

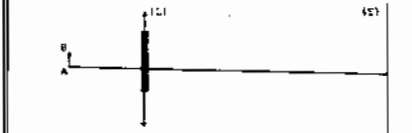
figura 5

UN CUESTIONARIO DE OPTICA

Una lente convergente (L) da de un objeto AB luminoso una imagen real A'B' que se recoge sobre una pantalla (E). El conjunto está dispuesto tal y como se muestra en el siguiente esquema:



Colocamos un objeto opaco en la parte central de la lente, como vemos en el siguiente esquema (El objeto, la lente y la pantalla permanecen en el mismo lugar).

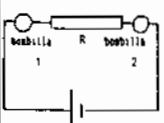
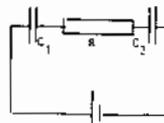
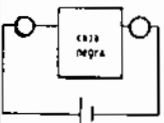
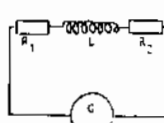
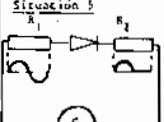
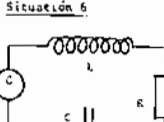
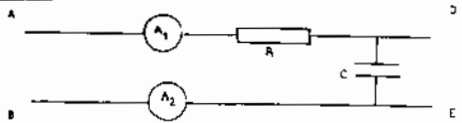


¿Qué vemos ahora en la pantalla? Compare con el caso precedente y justifique la respuesta...

LAS RESPUESTAS OBTENIDAS...

	Desaparece la imagen o hay un agujero en la imagen.	La imagen es completa y eventualmente menos nítida, menos luminosa.
en la Universidad de Paris 7	40%	42%
en primero, en el Líbano	64%	27%

figura 6

<p>Situación 1</p>  <p>Porcentaje de respuestas de tipo secuencial.</p> <table border="0"> <tr><td>E₁</td><td>E₂</td><td>E₃</td></tr> <tr><td>51%</td><td>52%</td><td>10%</td></tr> </table>	E ₁	E ₂	E ₃	51%	52%	10%	<p>Situación 2</p>  <p>Porcentaje de respuestas de tipo secuencial.</p> <table border="0"> <tr><td>E₁</td><td>E₂</td><td>E₃</td></tr> <tr><td>68%</td><td>33%</td><td>>37%</td></tr> </table>	E ₁	E ₂	E ₃	68%	33%	>37%
E ₁	E ₂	E ₃											
51%	52%	10%											
E ₁	E ₂	E ₃											
68%	33%	>37%											
<p>Situación 3</p>  <p>52% 46% >33%</p>	<p>Situación 4</p>  <p>50% 38% >22%</p>												
<p>Situación 5</p>  <p>28% 41% >24%</p>	<p>Situación 6</p>  <p>24% >17%</p>												
<p>Situación 7</p> 													

SITUACIONES DIVERSAS QUE PROVOCAN RAZONAMIENTOS SECUENCIALES (VER TEXTO)

y porcentaje correspondiente de respuestas en distintos tipos de estudiantes:

B: adolescentes de último curso de secundaria belga
 R: estudiantes en primero de universidad
 E: estudiantes con experiencia de 2 a 4 años de enseñanza superior.

tes de 13 a 16 años sin haber recibido ninguna enseñanza de electrocinética, hasta estudiantes que habían realizado de 2 a 4 años de estudios superiores.

El modo de razonamiento puesto de manifiesto, bautizado por el autor como razonamiento secuencial, y simultáneamente por Shipstone, es lo que da unidad a todas las respuestas suscitadas. Descubrimos así que, a través de los comentarios que los acompañan, el razonamiento de los alumnos es, en los primeros estadios de su formación, ampliamente «monoconceptual». Aparece allí la «electricidad», la cual se identifica a continuación, de manera indiferenciada, con la tensión o con la intensidad. El armazón del razonamiento no lo constituye el término utilizado, ni menos aún el concepto del físico, sino su forma secuencial: el circuito es analizado no en tanto que sistema de elementos en interacción mutua, sino como soporte de eventos que se suceden secuencialmente sin retroacción de abajo a arriba.

De este modo, situaciones (figura 6) todas ellas caracterizadas por la misma estructura —circuito serie comportando generador y dos elementos pasivos idénticos enmarcando un tercer elemento cualquiera— dan lugar a las siguientes respuestas agrupadas en los resultados bajo el epígrafe razonamiento secuencial.

El texto de las preguntas así como el contenido de las respuestas han sido abreviados; para más detalles, véase Closset 1983.

Situación 1

- Pregunta : ¿Brillan de igual manera las bombillas?
 Respuesta : No, la segunda brilla con menos intensidad.
 P. : Aumentamos el valor de la resistencia R, ¿qué les sucede a las bombillas?
 R. : La primera brilla con igual intensidad, la segunda menos que antes.

Situación 2

- P. : ¿Necesitan el mismo tiempo los condensadores para cargarse cuando cerramos el circuito?
 R. : No...

Situación 3

- P. : ¿Existe algún tipo de condición en el contenido de la caja negra para que las bombillas brillen de igual modo?
 R. : Sí, es preciso, por ejemplo, que no haya ni pila, ni generador, ni diodo...

Situación 4

- P. : Las tensiones en los bornes de cada resistencia, ¿presentan el mismo defasaje con respecto a la existente en los bornes del generador?
 R. : No, por lo que respecta a la segunda, el defasaje de la autoinducción interviene...

Situación 5

- P. : Tenemos un osciloscopio conectado a los bornes de cada resistencia. ¿Observamos señales idénticas?
 R. : No (cf. dibujo en la figura).

Los porcentajes de este tipo de respuestas disminuyen cuando mayor es la cualificación del estudiante, si bien permanecen importantes en algunos físicos incluso bastante después de obtener la licenciatura. Otras situaciones más variadas muestran cómo el carácter secuencial del razonamiento puede avenirse, por ejemplo, a una corriente alternativa, como es el caso de la respuesta que hace depender los defasajes, en un circuito serie RLC (situación 6), del orden de los elementos. Bastantes comentarios de físicos y numerosas respuestas de los estudiantes permiten pensar que, en un filtro, los amperímetros situados tal y como aparecen en la figura (situación 7) no «verán pasar» corrientes idénticas o bien que el hecho de desplazar la resistencia hacia la conexión en la que se sitúa el amperímetro A2 afectará a la indicación de éste. Las huellas de un razonamiento de este tipo se encuentran en un buen número de preguntas (unas treinta en el estudio de Closset) a unos niveles de error muy variables, incluso hasta en soluciones correctas e inútilmente complicadas.

Existen muchos puntos en común en los objetivos y en los métodos de estos dos estudios. Ambos nos alejan de una noción ingenua de «representación espontánea» la cual no sería sino la imagen intuitiva de un concepto de física, con una correspondencia de palabra a palabra. En ambos casos, se trata de modos de razonamientos que aparecen en el momento en que procedemos a repertorios de preguntas muy específicos y cuyos contornos no se corresponden con los de los capítulos de nuestros manuales.

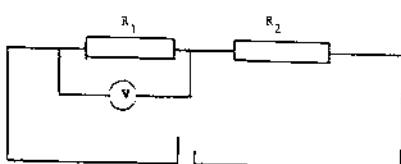
Pero el segundo nos conduce a una visión menos dicotomista del razonamiento. Ya no es posible separar una vertiente natural de otra aprendida. El razonamiento secuencial en electrocinética no se manifiesta efectivamente en los niños. La experiencia cotidiana no es directamente responsable. Antes más bien diríase que se trata de una forma general de razonamiento en la que el análisis causal adquiere una forma lineal, cuyo empleo está en cierto modo catalizado por la introducción escolar de la noción de circuito y que, por otra parte, puede resultar, en determinados contextos, muy eficaz. La permanencia, en todos los niveles de competencia, de este tipo de razonamiento, no permite hacer de él un simple asunto de debutantes. Conciérne también a los físicos. Por otra parte, el campo de acción de esta forma de razonamiento sobrepasa ampliamente la electrocinética. Termodinámica, equilibrios químicos, electromagnetismo, ofrecen ocasiones múltiples para entregarse a ello. De ahí la idea de estudiar este modo de razonamiento en sí mismo.

2. FORMAS DE RAZONAMIENTO Y CONTENIDO FÍSICO

Este ejemplo de la electrocinética introduce pues la necesidad de estudiar los razonamientos en física, realizando cortes según ángulos múltiples: según el campo de la física, según la estructura formal del problema, en relación con la forma general de razonamiento, según el formalismo matemático, en función de la competencia técnica o experimental necesaria... Acrecentando estas diferentes perspectivas podemos esperar delimitar de modo eficaz el tan complejo terreno de los razonamientos utilizados, legítimamente o no, en física. Veamos un ejemplo más para ilustrar el tema del «cruce». La figura 7 presenta un ejercicio confeccionado a partir de un cuestionario de encuesta de Closset. Es un ejercicio de crítica de texto, actividad enor-

figura 7
Un ejercicio de crítica de texto.

LEA EL SIGUIENTE EJERCICIO:



Aumentamos R_1 . Constatamos que V también aumenta. Explique la razón.

LEA LA RESPUESTA DE UN ALUMNO:

$V = R \cdot I$, como R crece, V crece también.

CRITIQUE ESTA RESPUESTA.

¿Es correcta, incorrecta (por qué), incompleta (en este caso, qué falta), rigurosa...?

mamente instructiva sobre la que me hubiera gustado extenderme más. La «respuesta del alumno» propuesta a observación del estudiante es aquella que obtenemos con mayor frecuencia entre los estudiantes de primer año de facultad. Se sitúa en la encrucijada de dos interpretaciones:

— Una de ellas, coherente con otros múltiples resultados dentro del marco de la electrocinética, consiste en que, a este nivel, todavía son muchos los estudiantes que consideran una pila como una fuente de corriente de caudal constante.

— La otra, igualmente coherente con otros tantos no menos numerosos resultados, radica en que, cuando tres cantidades se hallan implicadas en una relación, la tendencia natural consiste en fijar implícitamente

una para reincorporarse a una situación tranquilizante de dependencia funcional simple con una única variable: $y = f(x)$, a mayor velocidad, menor tiempo; R crece, así pues V crece también...

Dicho sea de paso, más de la mitad de los estudiantes de primer año a los que se les ha preguntado ratifican la respuesta propuesta (Viennot 1983).

El razonamiento funcional con distintas variables constituye en sí una especie de mole de resistencia. Este paso obligado de la física, cuyas asperezas descubrimos verdaderamente al abordar la termodinámica, ha sido, por lo general, ignorado e incluso constantemente encubierto durante toda la enseñanza secundaria. Además, las explicaciones cualitativas, con las que se intenta hacer fácil una física que no lo es, conducen a menudo a la enseñanza, de una manera subrepticia a una especie de reduccionismo funcional: las moléculas se aceleran, por consiguiente la presión aumenta; hay menos moléculas, la presión, pues, disminuye...

Este tipo de razonamiento causal lineal, en el que cada modificación de cantidad conlleva la de otra cantidad, la cual, a su vez, implica eventualmente a una tercera, impregna el razonamiento de los estudiantes así como las explicaciones de sus profesores. A menudo legítimo, este razonamiento es impropio para el análisis de sistemas en los que distintas variables se reajustan todas simultáneamente para obtener un nuevo equilibrio.

Crear en torno a un tema como éste las condiciones para una mejor comprensión y un mayor dominio de las dificultades es el objetivo típicamente asignable a un estudio de didáctica que, por otra parte, está en curso.

Determinados aspectos generales de la física —tales como la naturaleza algebraica de las dimensiones y de las relaciones, el estatus de las constantes, o la importancia de las simetrías—, ciertas aptitudes necesarias en el físico, como pueden ser el razonamiento de gráficas, la utilización de procedimientos diferenciales, el análisis de pertinencia en los resultados, el razonamiento analógico; todos ellos constituyen para el especialista en didáctica, otros tantos campos de estudio que hay que aislar en tanto que tema de trabajo, sin que se ignore por ello los múltiples acoplamientos y cruces sin los que la interpretación de los razonamientos resulta una caricatura. En concreto, resultaría bastante ingenuo pretender desacoplar, en el terreno de la física, los estudios conocidos como de resolución de problemas de aquellos tradicionalmente calificados como estudios de representaciones. Se puede llegar a medir, por ejemplo en la tesis de Fauconnet, la influencia del contenido físico de un problema sobre su tratamiento por el estudiante, en una determinada estructura formal.

En última instancia, se trata de no perder de vista dicha complejidad sin que por ello nos ahogemos en ella.

3. LOS FÍSICOS Y SUS RAZONAMIENTOS

Es preciso que, a la luz de estos ejemplos, abordemos ahora una dicotomía que enfrenta esta vez a debutantes y profesores de física. Siempre se corre el riesgo, al analizar los razonamientos de los demás en física, de tomar como referente el de uno mismo. A este respecto, una concepción simplista del estatus de profesor permanece en última instancia fuertemente anclada en nosotros. Dicha concepción responde a la expresión «el físico». Éste sería, en efecto, el sumo sacerdote de una verdad única que le habría sido revelada en la forma en que actualmente conocemos, en la cima de algún monte.

Dos consideraciones se imponen al respecto:

En primer lugar, no existe tendencia alguna importante en el razonamiento estudiantil del que el profesor lúcido no halle algún tipo de huella en sus propios razonamientos e incluso en las explicaciones que imparte. La huella puede ser discreta: puede ser, por ejemplo, la asimilación implícita de las representaciones «+q» y «q>0», o el empleo exclusivo de ejemplos de un determinado tipo para una determinada noción, o ciertas afirmaciones ni demasiado precisas ni realmente falsas del tipo «la agitación térmica aumenta, por lo que el cubito de hielo se deshace».

La huella puede tratarse de algo caracterizado: estaremos ante errores del mismo tipo que los de los estudiantes, en un contexto más complejo: una confusión entre fuerza-velocidad relativa a una fuerza de Coriolis, o un razonamiento secuencial ante una pregunta desconcertante o confusa, como lo ha demostrado Closset. Si el profesor en cuestión se interesa por los razonamientos de sus estudiantes, hallará en los propios una rica fuente de inspiración.

En segundo lugar, existe la física, sin lugar a dudas, pero ésta ofrece un conjunto de descripciones y de puntos de vista considerablemente ricos. Comprenderla consiste en poder articular diversos puntos de vista sobre un mismo problema. Ello ofrece al razonamiento de los físicos un campo mucho mayor de lo que estamos dispuestos a admitir. La física es un lugar de consenso impresionante, pero el físico no existe. Sólo existen físicos en busca de una visión de los fenómenos físicos que sea, obviamente, lo más completa, lo más justa posible —es decir, coherente con los hechos y consigo misma— pero que sea también igualmente manejable, eficaz y memorizable. Escribir un libro de texto, construir una clase, significa elegir una ponderación entre diferentes objetivos. Asistimos particularmente en la actualidad a múltiples intentos por presentar la física menos atrapada en las férreas limitaciones del cálculo, y ello tanto en lo que respecta a la intención de los no especialistas, o estudiantes de primer ciclo, como por medio de los razonamientos concienzudamente elaborados de invariaciones o de simetrías

que sirven de acceso milagroso, por ejemplo, al corazón mismo de la mecánica cuántica.

«Search of simplicity»: ése es el título de la última serie de notas de Wiskopft en el A.J.P.

Algunos grandes físicos dedican todas sus atenciones al servicio de esta dirección. ¿Qué le queda al especialista en didáctica laborioso y atareado, en lo concerniente al contenido de la física?

Curiosamente, no le queda nada, sino algo muy natural en un profesor: un balance de cuanto se ha publicado, punto por punto. Un balance que confronta los puntos de vista, cruza los análisis, evalúa la precisión de los mismos, calcula a priori su manejabilidad y eficacia.

Una tesis reciente sobre didáctica, realizada por Aboud, de L'E.R.D.E.P. (Universidad de Paris VI), ilustra este tipo de trabajo. Versa sobre la inducción electromagnética. No estamos pues ante una física de punta. Y sin embargo, las conclusiones no derriban en absoluto ninguna puerta abierta. Esta tesis ha hecho que los autores de trabajos célebres confronten su puntos de vista. Induce, por ejemplo, a un replanteamiento de la noción de fuerza electromotriz. Clarifica dos orientaciones posibles, en ambos niveles de la enseñanza secundaria y superior, y relaciona detalladamente sus respectivas ventajas.

Toda reflexión minimamente seria sobre cualquier campo de la física, incluso la clásica, nos hace sentir la necesidad de este tipo de trabajos monográficos.

Pensemos, por ejemplo, en el estudiante atónito a quien se le presenta el azul del cielo en muchos libros como un asunto de difusión Raileigh, al parecer exclusivamente ($1/\lambda^4$, todos lo sabemos...), mientras que descubre por otros medios que el azul en cuestión depende, aparentemente de una manera no menos exclusiva, de las fluctuaciones de densidad atmosférica. El alcance de ciertas cantinelas, el contenido físico de un buen número de nociones, desde la electronegatividad hasta la presión en un gas real, merecerían ser reconsiderados, por medio de una confrontación de enunciados expresados en un lenguaje natural y de unas pruebas de coherencia formal.

Si estamos ante un objeto de enseñanza que concierne a la vez a matemáticos y a físicos, a veces observamos verdaderos vacíos entre las representaciones de unos y otros. Aproximaciones lineales tangentes de funciones para unos, trocitos de cantidades físicas para otros, las diferenciales pertenecen a esos objetos que no tienen en común en las dos asignaturas más que el nombre. Si desbrozar los contenidos explícitos o implícitos en ambos puntos de vista, apoyándonos en un análisis no normalizado, puede servirnos, éste será el objetivo de la primera parte de un estudio en curso concertado entre matemáticos y físicos (1) que intentan, por otra parte, explorar más minuciosamente los comporta-

mientos de los estudiantes y evaluar, en Paris VII así como en Grenoble, las secuencias de enseñanza construidas a partir de ciertas informaciones, las primeras disponibles.

En efecto, la lógica de determinado punto de vista de investigación didáctica, no ya su especificidad, consiste en hacer de tales análisis de contenido tan sólo el precedente de un estudio más completo que introduzca las dificultades del estudiante, proposiciones de secuencias de enseñanza y, a ser posible, un intento de evaluación. No obstante, conviene saber que todo precedente, así como, por otra parte, cada uno de los demás componentes del estudio, puede ser sustancial.

CONCLUSIÓN: DIDÁCTICA, ¿PARA QUÉ?

La definición de lo que es la Didáctica, así como la de los objetivos que interesa asignarle, ha constituido ya el tema de muchos trabajos. Existen dos actitudes extremas que creo conveniente evitar.

Por un lado, la que, pura y dura, consistiría en aceptar como reflexión didáctica auténtica sólo aquella que obedece íntegramente a los criterios recordados anteriormente. Arraigada en un esfuerzo cuyo carácter fecundo ha intentado subrayar esta breve exposición, y más aún, diríamos que aunque indispensable, un estudio de este tipo se identificaría con una «defensa e ilustración» de un determinado campo de investigación; se condenaría a tener que dejar de lado una gran cantidad de problemas de la enseñanza culpables de ser pleotóricos en parámetros inextricables.

El otro extremo, esta vez en el campo de la ingenuidad, radica en querer cargar la investigación en didáctica con el peso abrumador de todos los problemas que surgen ante el profesor: ¿merece más la pena enseñar la electrostática durante el segundo o el primer año, desarrollar los proyectos o aprender a calcular?, etc... Esta actitud, obviamente, no puede sino engendrar frustraciones. La didáctica puede llegar a despejar algunas constantes, todas ellas variables, por otra parte. Sin embargo, le resulta más difícil evaluar la influencia de un parámetro, todos, por otra parte, constantes. Ahora bien, la enseñanza constituye un hecho global, en el que intervienen numerosos aspectos ligados entre sí. Entre otras cosas, se trata de una elección de objetivos, y por consiguiente de política, de motivación de alumnos, de formación del profesorado, de todo tipo de medios, de convicciones compartidas. En estas condiciones, la didáctica puede aclarar las elecciones, no dictarlas.

¿Quiere esto decir que su función es tan irrisoriamente limitada? De hecho:

a) Me parece bastante saludable que las funciones relativas a decisiones sobre programas, redacción de trabajos por un lado, estudios didácticos por otro, sean

distintas, aunque coexistan a veces ambas en los mismos individuos o en los mismos grupos. Que a los especialistas en didáctica se les exija ser comprensibles, controlables, me parece saludable. El que las instancias de decisión, los escritores de obras se vean obligados a seleccionar y a no integrar más que determinados resultados de la investigación en su íntima convicción, me parece necesario. Un cambio de competencia puede ir acompañado igualmente de una decantación.

b) Los elementos de información adquiridos por la didáctica pueden parecer limitados. El razonamiento secuencial, está claro, o la confusión Fuerza-Velocidad, por supuesto, todos los sabemos... Lo propio de dichos resultados consiste en caer brutalmente de un estatus de extrañeza extravagante en ese otro de la llana y simple evidencia. ¿Pero quién será capaz de predecir sin mucho esfuerzo las próximas llanas y simples evidencias en Termodinámica, por ejemplo, o en lo relativo a las diferenciales? La dificultad radica en el hecho de que para ello se necesita una nueva mirada, un descentrarnos con respecto a nuestra práctica cotidiana de enseñante. Aceptar interesarse por los resultados, aunque limitados, de la investigación supone igualmente participar en esta actitud de descentrarse. El número de cuantos lo han hecho y los beneficios recolectados, no son cuantificables. ¿Pero alguien puede decir que sean despreciables? Personalmente, es en ello donde veo el principal efecto positivo de toda esta empresa.

Finalmente, me parece que cabe desear para la didáctica una doble función:

- establecer algunas certezas relativas en torno a determinados puntos necesariamente limitados, y tejer con ellos una red lo más densa posible y
- contribuir, por contraste, a que no se confunda, por lo demás, convicción compartida con resultado demostrado.

Este segundo componente puede parecer una especie de subproducto sucinto en el marco de un registro moralizante. A mi me parece esencial, y si la didáctica de la física, en un día depresivo, se mirase en el espejo preguntándose lo que de espectacular ha hallado desde hace diez años, quizás le respondiese, primero por lo bajo, que está cambiando con lentitud, pero quizás profundamente, por la manera con la que muchos de nosotros nos planteamos los problemas. A continuación le daría una lista de resultados nada despreciables que esta exposición no ha podido ilustrar sino muy parcialmente. Confío mucho en la exposición que sigue y en las Mesas Redondas para que quede completado el panorama.

Ya que no he podido desarrollar más a placer el tema, espero no obstante haber iniciado hacer notar la amplitud del campo abierto a la investigación didáctica: desenterrar los razonamientos de estudiantes y físicos, localizar puntos críticos para el aprendizaje, analizar

contenidos, construir secuencias de enseñanza y elaborar instrumentos apropiados para la evaluación de conocimientos, estudiar de una manera crítica otros estilos de enseñanza (especialmente la enseñanza técnica) para tomar de ellos lo mejor, elaborar programas in-

formáticos de ayuda para el profesor. La lista es larga, el resultado mínimo es costoso, pues rarísimos son los investigadores que profesan la didáctica. De este modo desembocamos en otro debate: ¿quién hará la didáctica?, ¿cómo se organizará?

Nota:

(1) Equipos D.I.D.I.R.E.N. y L.D.P.E.S. de París VII, L.S.D. de Grenoble, coordinados en el marco del G.R.E.C.O. Didáctica y Adquisición de conocimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOUD, R., 1984. *Le phénomène d'induction électromagnétique et son enseignement au lycée et à l'université*. Thèse de Troisième cycle. Université Paris VII.
- Actes du Colloque de Ludwigsburg sur l'électrocinétique*, resp. C. Von Rhoneck, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, 1984.
- CLEMENT, J., 1982. Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Phys.*, Vol. 50.
- CLOSSET, J.L., 1983. *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de Troisième cycle. Université Paris VII.
- FAUCONNET, S., 1981. *Étude de résolution de problèmes: quelques problèmes de même structure en physique*. Thèse de Troisième cycle. Université Paris VII.
- FAWAZ, A., 1985. *Image optique et Vision: étude exploratoire des difficultés des élèves de première au Liban*. Thèse de Troisième cycle. Université Paris VII.
- Recherche en Didactique de la Physique. *Actes du Premier Atelier International*, La Londe les Maures, Editions du C.N.R.S. Paris.
- L'évaluation dans le second cycle* (resp. du groupe rédacteur: A. Cros), BUP n° 659, pp. 385-415, 1983.
- SALTIEL, E. y MALGRANGE, J.L. 1980. Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics, *Europ. J. of Physics*. (Et thèse E. Saltiel, 1978. *Concepts cinématiques et raisonnements naturels*. Université Paris VII).
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L., 1983. *Questionnaires pour comprendre diffusion Université*. Paris VII. (Se le procurer auprès des auteurs).
- SHIPSTONE, D.M., 1984. A study of children understanding of electricity in simple D.C. circuits, *Eur. J. Science Educ.*, Vol. 6, pp. 299-309.
- VIENNOT, L., 1979. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Hermann: Paris. (Et thèse Université Paris VII, 1977).
- VIENNOT, L., 1983. L'implicite en physique: le raisonnement fonctionnel chez les étudiants, *Actes des cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*. Chamoni, pp. 91-97. (Voir aussi *Eur. J. Phys.*, Vol. 3, pp. 174-180, 1982).