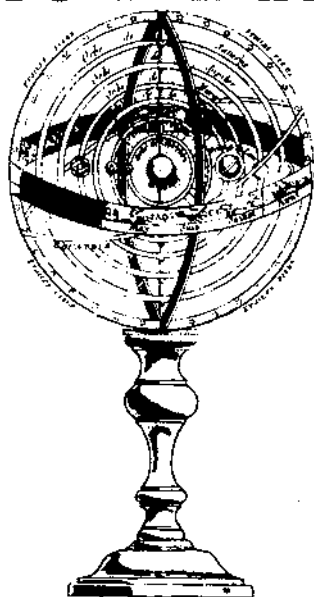


# OTROS TRABAJOS



---

## LA «DESINTETIZACION» DE LOS MODELOS FÍSICOS: UNA LIMITACION Y UNA POSIBILIDAD DE ELECCION

JOHSUA, S.

Faculté des Sciences de Luminy. Marseille.

(Versión castellana de Jordi Solbes Matarredona. Servei de Formació Permanent de la Universitat de València.)

---

### 1. INTRODUCCION

#### 1.1. El «redescubrimiento» y su aplicación

Desde el final de los años 50, existe un movimiento de amplitud mundial, tendente a la reforma de la enseñanza de la física. Las grandes opciones de base de este movimiento son multiformes, pero la mayor parte están ligadas a una puesta en cuestión del carácter «artificial» de la física enseñada tradicionalmente (Baez 1977). Entre estas opciones ha de darse un lugar importante a la voluntad proclamada de aproximar el cuadro general de la enseñanza a la situación epistemoló-

gica en la cual se desarrolla la producción de la física científica. De ahí la gran insistencia de ciertos autores sobre las situaciones de «redescubrimiento» (Bruner 1960), de investigación (Schwab 1962), o «de autoconstrucción del saber» (Astolfi 1984). Pero cuando se han hecho estudios minuciosos para analizar su grado de puesta en práctica efectiva, se constata que los deseos no se han realizado apenas.

Se puede dar el ejemplo siguiente: los presupuestos de dos programas americanos de física y biología (PSSC

y BSCS) en favor del «redescubrimiento» son conocidos. Herron (1971) ha realizado una clasificación a priori de los ejercicios de laboratorio eventualmente propuestos a los alumnos (e inicialmente debido a Schwab (1962)), en función del grado de directividad de los ejercicios. Herron ha añadido el «grado cero» (Cuadro 1).

Con estos criterios él obtiene la clasificación que muestra el Cuadro 2.

Así, la gran mayoría de los trabajos prácticos están, de hecho, en el grado «cero» en lo que concierne a los procesos de «redescubrimiento».

Cuadro 1

	Problemas	Estrategias y procedimientos	Respuestas
Nivel 0	dado	dado	dado
Nivel 1	dado	dado	abierto
Nivel 2	dado	abierto	abierto
Nivel 3	abierto	abierto	abierto

Cuadro 2

Nivel de descubrimiento	BSCS	PSSC
0	45	39
1	13	11
2	4	2
3	0	0

En cuanto a la «apertura», se debe, en nuestra opinión, distinguir de forma general varios casos:

- i) «apertura» desde el punto de vista del físico: la cuestión autoriza varias respuestas desde su punto de vista, lo que supone un análisis relativamente complejo de la situación;
- ii) «apertura» desde el punto de vista del profesor y los alumnos. La clase aborda un problema del cual sabe que existe una solución, pero ésta es desconocida por el profesor;
- iii) «apertura» desde el punto de vista del alumno. Aquí, la cuestión está «cerrada» desde el punto de vista del profesor que espera a priori una respuesta única. Pero el alumno considera que son posibles varias lecturas, que conducen a respuestas diferentes.

El «redescubrimiento» que se plantea más o menudo en la literatura pedagógica, concierne al tercer tipo de

apertura. Se ha visto anteriormente, en el cuadro, cómo la práctica efectiva conduce a una singular restricción de los grados de «aperturas» posibles.

### 1.2. Existencia de limitaciones didácticas

De todas formas, a partir del momento en que nos situamos en la tercera categoría de «apertura», la diferencia con la «física del físico» es ya considerable. ¿Quizás sea ésta la causa de las dificultades incontables que aparecen en toda la enseñanza de la física? Esta parece ser la opinión de ciertos autores que critican las opciones descritas anteriormente, no en su principio, sino en su aplicación. Algunos de estos autores buscan una salida mediante una aproximación histórica y epistemológica (el Harvard Project Physics); otros buscan construir situaciones en las que sea posible un grado máximo de «apertura» (aunque se permanezca en el marco del tercer tipo, con situación conocida del profesor) (Gil y Martínez 1984).

La cuestión de saber cuál será el porvenir de estas tentativas permanece en nuestra opinión abierta. Pero es forzoso constatar que estas opciones, sostenidas por grandes científicos (Langevin, por ejemplo, desde 1904) tienen dificultades de imponerse y sobrepasar una cierta marginalidad.

Es posible también que el principio mismo que ha guiado tantas voluntades de reforma sea revisable. Nosotros avanzamos (Johsua 1985) la siguiente hipótesis: la estructura didáctica de la enseñanza tradicional de la física es una construcción específica. No se transmite el saber del físico en tanto que tal, sino un saber especialmente preparado para el acto didáctico; no es el alumno como ser total quien está implicado sino el alumno como sujeto didáctico. Se trata, pues, en esencia, de una construcción artificial. Esta caracterización se ha utilizado a menudo como una crítica por numerosos innovadores en física (el niño sería «mutilado» en un tal proceso, la física «desnaturalizada», etc...). Nuestra hipótesis directriz es que, por el contrario, esta «artificialidad» es inherente al proyecto didáctico mismo.

Si esta hipótesis es válida, entonces hay que admitir que la investigación didáctica se equivoca intentando desesperadamente reducir la artificialidad de los actos didácticos. La enseñanza de la física no puede esperar una transmisión directa de la física del físico. Inversamente, si esta hipótesis es válida, se está entonces legitimado para admitir la confrontación entre numerosas propuestas de construcciones didácticas (Halbwachs 1978). Ninguna es «natural». Pero se está entonces en el derecho de pedir a cada una que precise los objetivos que persigue, las hipótesis que la fundan (concernientes al alumno o a la materia a enseñar).

Pero la libertad de elección tiene límites; es necesario que ciertas condiciones generales se impongan a todo proyecto didáctico (por citar sólo un ejemplo, la adecuación del conocimiento físico al desarrollo cogniti-

vo del niño). Una de estas limitaciones concierne al tipo de tratamiento necesario en un dominio del saber con vistas a su enseñanza. Trataremos seguidamente un aspecto que denominamos «la desintetización del modelo».

### 1.3. Hipótesis sobre la «desintetización» del modelo

En la ciencia física no es posible pensar una experiencia independiente de una teoría (Popper 1973, Kuhn 1970). Sin embargo, parece inevitable, en un cuadro didáctico, disociar —ficticiamente por supuesto— la experiencia de la teoría, estando la segunda en la gran mayoría de los casos presentada como una «consecuencia» de la primera (Hulin 1983, Johsua 1985). Pero el proceso no se detiene aquí. La disociación se prosigue en el dominio de la misma teoría.

Un modelo de la física (por ejemplo, el modelo clásico de la electrocinética) reposa sobre una o varias teorías más vastas. El mismo está constituido por un cuerpo de conceptos ligados entre ellos por un sistema de relaciones, muy a menudo de carácter funcional. Los conceptos no existen más que en referencia a otros conceptos (incluidos o no en el modelo) (Levy-Leblond 1971). En el cuadro de un modelo, el sentido que toma cada concepto es indisoluble del sistema de relaciones en el cual interviene. Sin embargo, en un marco didáctico, el modelo no es un dato de partida, sino justamente un objetivo declarado de enseñanza. En consecuencia, la disociación del modelo en conceptos considerados independientes y que se ponen seguidamente en relación, parece inherente a todo proyecto didáctico: es lo que nosotros llamamos la «desintetización del modelo».

Este proceso no puede reproducir el camino histórico, puesto que está inevitablemente finalizado en un marco escolar: se trata de construir una modelización precisa y conocida de antemano. Este proceso se superpone a la ruptura teoría/experiencia para crear un cuadro epistemológico artificial específico del proyecto didáctico. En éste, puede esperarse que el sentido tomado por tal o cual concepto sea notablemente diferente del que ocupa en una determinada concepción del físico, o en otro marco artificial escolar. Pero, al mismo tiempo, una libertad de elección está así a disposición del enseñante, libertad que él puede legítimamente usar en función de criterios que no están todos ligados a la física del físico.

Librándose a una tal desintetización, no se limita a alejarse del saber científico. No se arroja al vacío, al sin sentido; se crea un sentido, se crea lo que llamamos una epistemología artificial, donde los conceptos ocupan un lugar diferente del que ocupan en el saber del científico.

## 2. EL EJEMPLO DE LA ELECTROKINETICA EN LA ENSEÑANZA FRANCESA

Con el fin de ilustrar nuestro propósito, tomamos se-

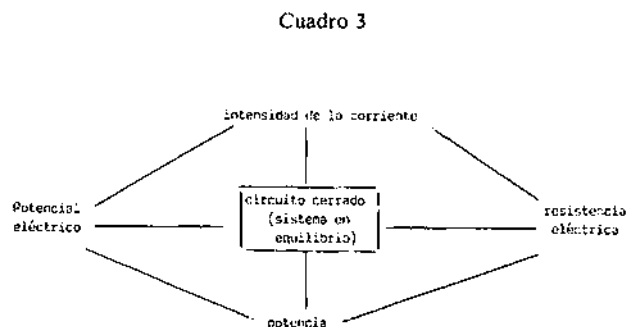
guidamente el ejemplo de «la electrocinética de los circuitos de conductores, en régimen estacionario».

### 2.1. Los conceptos de electrocinética

Este dominio supone ya una división de muchos objetos de saber (electromagnetismo, física del sólido, electroquímica, etc...) que puede, en primera aproximación, ser presentada bajo la forma de una *cadena semántica*. Los conceptos que están contenidos parecen ser los siguientes:

- i) Las nociones de intensidad de corriente, de potencial eléctrico, de resistencia y de potencia. Cada una de estas nociones sostiene relaciones con otros dominios de la física, y algunas incluso con principios más generales (conservación de la carga y de la energía).
- ii) La noción de circuito cerrado, no sólo en su acepción de «conductores en contacto», sino también en la de sistema en equilibrio.

Este tipo de concepto nos parece que debe ser separado metodológicamente de los otros cuatro. Es en efecto no cuantificable (al menos en el cuadro restringido aquí considerado), y sostiene probablemente relaciones con categorías lógicas abstractas muy generales. Esto conduce al esquema adjunto (Cuadro 3):



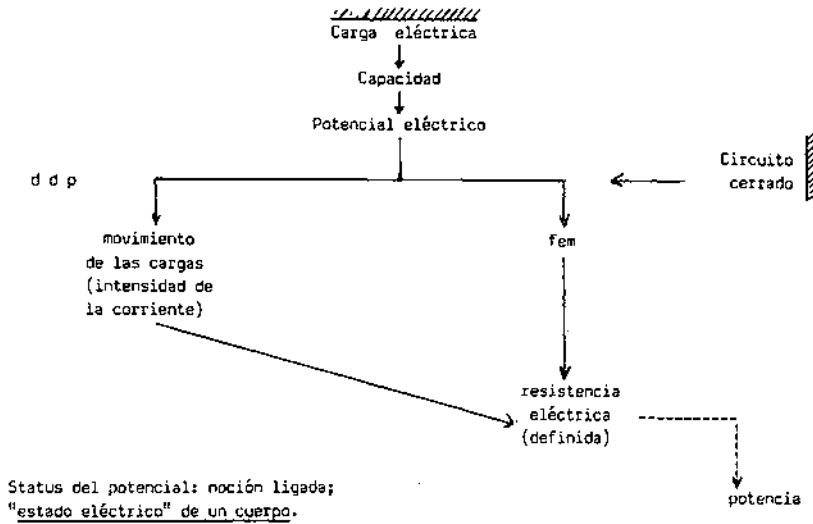
### 2.2. Tipología del lugar de los conceptos en una desintetización.

Existe una gran variedad de desintetizaciones posibles de la electrocinética. Presentamos a continuación una descripción global de las que fueron efectivamente practicadas en Francia, o que lo fueron marginalmente.

En estas «introducciones» llamamos a ciertas nociones:

- i) *primarias*, cuando son consideradas independientemente de otras nociones que serán presentadas posteriormente;
- ii) *ligadas*, si dependen de nociones primarias por una parte, de otros tipos de argumento por otra (experimentales por ejemplo);
- iii) *definidas*, si son construidas únicamente con referencia a las magnitudes primarias y a las ligadas.

Cuadro 4  
La introducción electrostática.



2.3. Las cuatro introducciones practicadas en Francia desde 1902

2.3.1 La introducción «electrostática» (de 1902 a 1925)

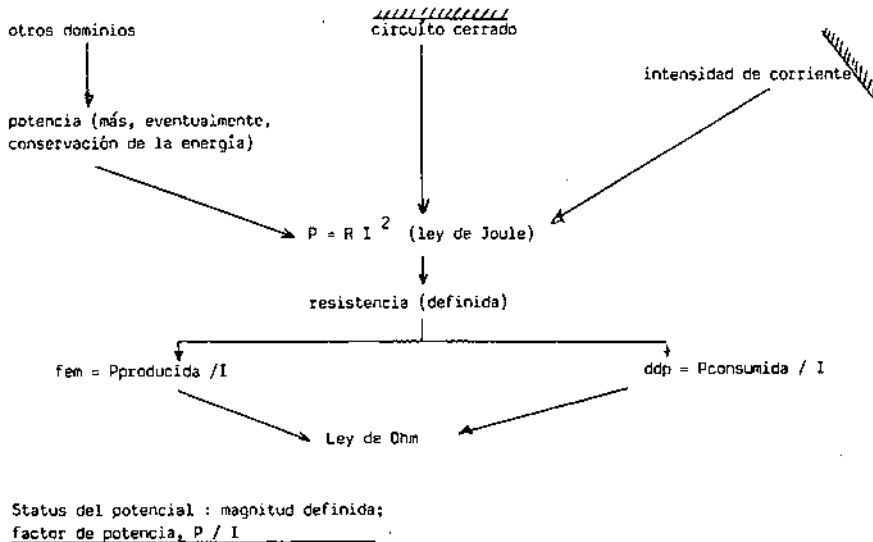
En esta introducción, la noción de carga eléctrica es primaria y la de potencial está ligada a la misma, y puede ser concebida ulteriormente como causa del desplazamiento de cargas. La resistencia eléctrica es definida. La relación con la potencia es rara, pero posible gracias a la ley de Joule. La noción de circuito cerrado es también una noción primaria en este marco. Este es el caso para todas las otras introducciones (Cuadro 4):

2.3.2. La introducción «energética»

(Otro nombre utilizado de 1925 a 1966 «por los efectos de la corriente».)

La relación con la electrostática no existe. La corriente eléctrica es una noción primaria. Las nociones de potencia, de transferencia de energía son fundamentales (suponiendo incluso, explícitamente o no, la referencia al principio de conservación de la energía). La ley de Joule sirve para definir la resistencia, y la diferencia de potencial es definida seguidamente. La ley de Ohm es una consecuencia de todo este camino (Cuadro 5).

Cuadro 5  
La introducción energética.



2.3.3. La introducción del «trabajo de las fuerzas eléctricas» (de 1966 a 1978).

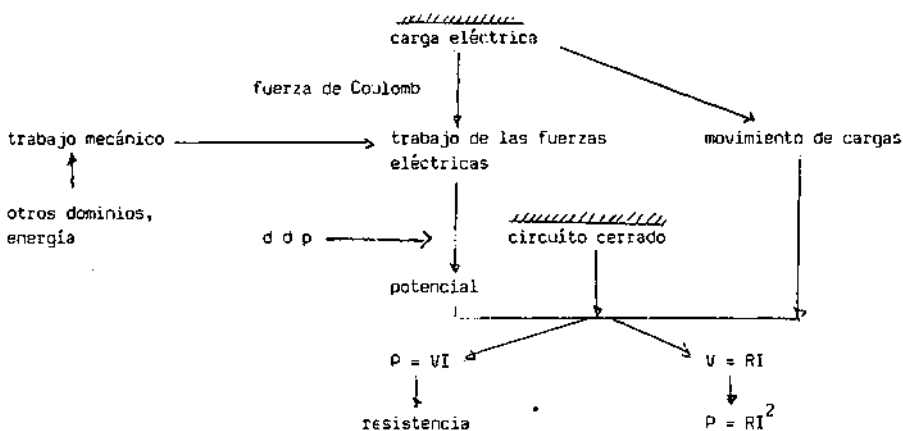
Esta introducción, poco usada, fue propuesta varias veces a lo largo del siglo. Se practica más corrientemente en otros países que en Francia. Combina nociones electrostáticas (la carga es una noción primaria) y argumentos de orden energético. El potencial se convierte en una magnitud definida por la relación  $W = q (V_a - V_b)$ . En esta expresión,  $W$  tiene el carácter de una energía potencial, pero este punto es raramente puesto en evidencia en las introducciones que hemos analizado.

Dos posibilidades existen a continuación y son practicadas corrientemente, o más bien paralelamente, dando más o menos importancia a las cuestiones energéticas. En los dos casos la resistencia es una magnitud definida (Cuadro 6).

2.3.4. La introducción  $V/I/R$  (a partir de 1978)

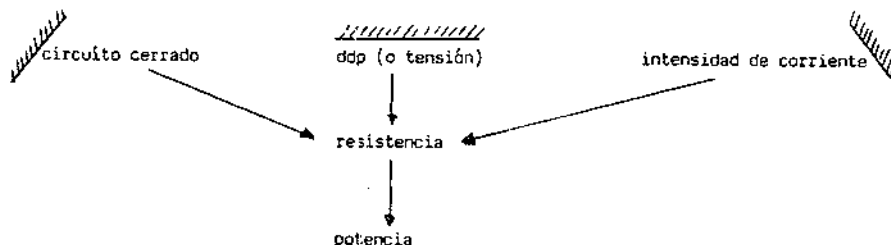
Se trata de introducciones de electrocinética sin referencias a otros dominios de la física. Es la situación que predomina hoy en la enseñanza francesa, donde la electrocinética aparece en los inicios del 1<sup>er</sup> ciclo (grado 6) o del segundo ciclo (grado 10) (Cuadro 7).

Cuadro 6  
La introducción trabajo de las fuerzas eléctricas.



Status del potencial: noción definida,  
factor de trabajo ( $W = q (V_a - V_b)$ ).

Cuadro 7  
La introducción  $V/I/R$



Status del potencial: noción primaria

### 3. LOS CRITERIOS DE ELECCION

¿A partir de qué presupuestos se efectúa la elección entre estas introducciones? Esto es lo que describimos brevemente a continuación.

#### 3.1. La práctica del físico

Cuando se consideran las discusiones que se desarrollan entre los partidarios de cada una de estas introducciones, sorprende el hecho de que cada «campo» estime que su posición se impone ella misma por así decirlo; habría una posición *natural*, las otras revelarían no una elección circunstancial, sino la incompreensión. Haciendo esto, los criterios de elección son inevitablemente ocultos.

Martinand (1983) subraya así, que a priori, «numerosas prácticas de referencia» pueden ser consideradas como blanco de una enseñanza de electrocinética (investigación científica, producción industrial, actividades domésticas, etc...). Pero aquí, es más bien la práctica del físico la que, implícitamente, es tomada como referencia natural.

#### 3.2. El inductivismo

Pero, en esta práctica, un dominio es considerado como absolutamente prioritario por los pedagogos: el de la *relación experimental*. La opción ideológica dominante sobre esta cuestión es lo que denominamos *inductivismo*. Está basado sobre una concepción positivista de las ciencias, particularmente viva en Francia a causa de la influencia mayoritaria de Auguste Comte (1830).

El positivismo reposa esencialmente sobre el postulado de una ruptura entre la *teoría científica* (funciona siguiendo los criterios apropiados a las teorías deductivas y cuyas categorías no tiene otra significación que la simbólica), y la *base observacional* (que suministra el marco de interpretación de los algoritmos de la teoría).

La mayor parte de los epistemólogos del siglo XX rechazan la hipótesis de una inferencia que conduzca «naturalmente» de los datos observacionales a la teoría (Bachelard 1949, Kuhn 1970, Popper 1973, Lakatos 1976) e insisten sobre el carácter *hipotético-deductivo* del razonamiento científico. Pero estas posiciones tienen poca influencia sobre los postulados de base de la enseñanza francesa en el curso del siglo XX. Esta estará por el contrario caracterizada por una visión reduccionista del positivismo, una *ingenua concepción inductivista* de la experimentación, en la que el conocimiento surge espontáneamente de la observación «rigurosa» y de las medidas numéricas. En este marco todo lo que revele una verdadera modelización será borrado. Esto conduce prácticamente a privilegiar, en las introducciones propuestas, las nociones primarias y las definidas sobre las ligadas. Estas últimas suponen, en

efecto, una efectiva interrogación conceptual sobre el sentido y la puesta en relación de las nociones consideradas (ver 1.3).

#### 3.3. ¿Cuál es «más experimental»

En estas condiciones, la cuestión de saber si tal introducción de electrocinética es «más experimental» (es decir, la parte más importante de la inducción) ocupa un lugar de elección en las polémicas que oponen a los partidarios de las diferentes posiciones. El resultado: un debate que divide a los pedagogos al principio del siglo entre las introducciones electrostática y energética.

A la primera se le reprocha su carácter abstracto y no experimental, en particular a propósito de la noción de potencial: «Es ilusorio tratar de definir la diferencia de potencial en relación con dos magnitudes químicas. No se puede pedir a un alumno una noción perdurable de la capacidad; ¿cómo podría comprender una ley de proporcionalidad entre dos magnitudes de las que no ha podido concebir la medida? (Guichant 1909). En consecuencia, «... no es posible establecer, por vía experimental, la noción de potencial en un punto de un conductor o de un campo eléctrico» (Pionchon 1916).

¿Sería más experimental la introducción energética? No, responden otros autores, que critican por el contrario la abstracción de la noción misma de energía: «Si queremos basar el estudio de la electrodinámica sobre la noción de energía, será necesario, en un capítulo preliminar, hacer comprender qué es la energía en general, y de una forma clara, por qué la energía será la base del estudio ulterior. Habrá que presentar a continuación el principio de conservación de la energía y hacer comprender su verdadero significado» (Massain 1932).

#### 3.4. Un falso debate

¿Quién tiene razón en definitiva? Parece que ninguno de los dos campos. Ninguna introducción puede permitirse construir la modelización de la electrocinética desde un punto de vista puramente inductivo, haciendo economía de la construcción conceptual. De hecho, se puede mostrar (Johsua 1985) que, aunque la polémica sobre el carácter experimental de las introducciones sigue bien viva, no es la llave que permitirá comprender cómo, en definitiva, los pedagogos hacen su elección. Teniendo en cuenta el predominio de la ideología inductivista, el carácter experimental de una introducción aparece necesario, pero no es suficiente.

Los criterios determinantes de la elección corresponden a los dominios siguientes:

—¿Un objeto de enseñanza es considerado o no «envejecido»? Este envejecimiento no concierne principalmente al contenido científico mismo, sino al vocabulario, al aparato experimental, etc... Puede deberse

simplemente a una utilización excesivamente prolongada en el sistema escolar, o a la comparación con la práctica de la electrocinética exterior al sistema. El sistema educativo necesita «novedades»...

— El alejamiento de las concepciones dominantes en un momento dado entre los científicos, concerniente al objeto específico o a los fundamentos mismos de la física.

Así, la sustitución de la introducción electrostática por la introducción energética, se explica por el predominio de las concepciones energetistas y fenomenologistas de los físicos franceses entre las dos guerras (Fabry 1913). Así mismo, el ascenso de las concepciones explicativas y microscópicas explica, posteriormente, el abandono de la introducción energética (Bruhat 1931).

Así pues, el tipo de desintetización de la electrocinética está profundamente ligado a las opciones epistemológicas concernientes a la física. Se comprende entonces que el tipo de enseñanza proporcionado en cada caso a los alumnos no conduce *al mismo objeto*. El objeto perseguido es en gran parte diferente en cada caso.

### 3.5. La crisis del inductivismo

La concepción inductivista está en coherencia relativa con una aproximación fenomenológica a las situaciones experimentales y con una visión descriptiva de las leyes físicas. Por el contrario, las reformas de los años 60 y 70 (que se desarrollaron a escala mundial) insistían sobre los aspectos interpretativos y modelizantes de las teorías físicas. Paralelamente, los preceptos pedagógicos inductivistas, que quedaron en meras proclamaciones de intención hasta mediados de siglo, se vieron efectivamente puestos en práctica a partir de los años 60.

La conjunción de las nuevas opciones estructurales concernientes a la enseñanza de la física de un lado, la generalización de la puesta en práctica de los preceptos inductivistas de otro, conducen a una situación de crisis de la enseñanza tradicional de la física. La opción inductivista encuentra, en efecto, dificultades insuperables cuando la física que hay que alcanzar por este sesgo no es únicamente una fenomenología descriptiva simple, sino una modelización relativamente compleja. ¿Cómo resuelve el sistema dicho dilema siendo así que las puestas en cuestión del inductivismo son todavía marginales?

#### 3.5.1. «Naturalización» de lo estructural

Los modelos interpretativos complejos son presentados como conclusiones naturales de observaciones aisladas.

«La experiencia de Edison (1889) muestra que un metal calentado expulsa electrones en el vacío». La llamada experiencia no muestra evidentemente nada de esto. Y la interpretación es la siguiente: «El electrón

es un constituyente universal de la materia. Un metal contiene electrones muy numerosos, poco ligados, denominados electrones libres, animados de movimientos incesantes y desordenados (agitación térmica). Si ésta llega a ser muy elevada, los electrones son expulsados del metal» (Collin 1981).

#### 3.5.2. Didactificación profunda de las situaciones experimentales

Una de las formas de escapar a estas dificultades es construir situaciones experimentales de tal manera que el hueco abierto entre el fenómeno y su interpretación sea lo más reducido posible. Se va pues a centrar:

- i) en los *objetos técnicos*, que por la finalidad misma de sus funciones son a menudo productores o pacientes de fenómenos relativamente delimitados;
- ii) en la creación de *situaciones artificiales*, de las que un buen ejemplo es la utilización de mesas de cojín de aire para la introducción inicial de la mecánica en secundaria (grado 10).

#### 3.5.3. El operativismo

Los conceptos van a ser simplemente designados con la ayuda de un método de medida y aisladamente de los otros conceptos (no habrá pues modelización), pero van a funcionar, a «operar». El conjunto designación/operación constituirá entonces una tentativa para salvaguardar la base experimental en la introducción de un concepto y la ficción de una profundización conceptual por la repetición de su utilización.

### 3.6 La introducción V/I/R

Es en este cuadro donde hay que situar las introducciones V/I/R, vigentes en la enseñanza francesa actual, caracterizadas por una exacerbación de la orientación inductivista. Están, en efecto, marcadas por un proceso de «primarización» extrema de los diversos conceptos introducidos. Ya no hay conceptos ligados y, en consecuencia, toda construcción conceptual es delicada. El operativismo en particular ha sido llevado al extremo.

De hecho, podría decirse que la enseñanza de la electrocinética apunte menos al aprendizaje de las nociones de este último dominio que a ser un pretexto para otros aprendizajes: la manipulación de aparatos de medida, el trazado de gráficas, relación con la «vida cotidiana» y la tecnología (Johsua 1983).

## 4. ALGUNAS CONCLUSIONES

### 4.1. En relación con los objetivos

A la luz de los ejemplos de la parte III, se ve cómo los procesos de desintetización de los modelos de la física con vistas a su enseñanza aparecen directamente determinados por los presupuestos de los pedagogos. Le-

jos de ser una mera simplificación, la elección de un tipo de desintetización particular es altamente revelador de las opciones de quienes deciden, concernientes a la naturaleza y función de la física, la estructura epistemológica de esta última, tanto como el impacto social o cultural que se pretende.

Estas opciones se manifiestan raramente de una forma explícita; por el contrario, a menudo se revelan de forma implícita. Por tanto toda discusión sobre el impacto de tal o cual forma de enseñanza debe ser precedida por un cuestionamiento lo más preciso posible de las opciones que le son subyacentes, bajo pena de perder toda pertinencia.

#### 4.2. En relación con los procesos de aprendizaje

En el mismo sentido, este cuestionamiento hace aparecer como legítima la existencia de muchas desinteti-

zaciones posibles. Si este es el caso, entonces esto significa que se dispone de una gran latitud de elección. Nada impide entonces dar más o menos importancia a tal o cual criterio para fundamentar esta elección, en lugar de tomar por único criterio de juicio la idea, discutible en su nivel, de que se hace física como lo hacen los científicos.

Así, una importancia mayor a los procesos de aprendizaje de los alumnos, tal como aparecen descritos en las investigaciones actuales de didáctica de la física, podría ser determinante en la elección de desintetizaciones. Es así posible que el camino hacia la primorización de los diferentes conceptos introducidos (que deriva de un a priori inductivista ampliamente compartido), sea contestado en nombre de los procesos reales de pensamiento de los alumnos, que parecen revelar esencialmente estrategias hipotético-deductivas. Es en todo caso una hipótesis que merece ser considerada.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTOLFI, J.J., 1984, Repenser l'enseignement aux démarches expérimentales dans *Expérimenter* (Privat).
- BACHELARD, G., 1949, *Le rationalisme appliqué*. (PUF: Paris).
- BAEZ, A.V., 1977, *L'innovation dans l'enseignement des sciences: synthèse mondiale*. UNESCO.
- BRUHAT, G., 1931, A propos de la loi d'Ohm, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, mai-juin.
- BRUNER, J.S., 1960, *The process of education*, Harvard University Press (Cambridge, Mass.).
- COLIN, A. (Ed.), 1979, *Physique, seconde*.
- COMTE, A., 1830, *Cours de philosophie positive*. Bachelier.
- FABRY, C., 1913, Sur l'exposé des lois fondamentales du courant et de l'énergie électrique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, février.
- GIL PEREZ, D. y MARTINEZ TORREGROSA, 1983, Problem solving in physics: a critical analysis, *Actes du Colloque de la Londe des Maures*, CNRS Paris.
- GUINCHANT, J., 1909, Réponse à la question 104, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, juillet.
- HALBWACHS, F., VERGNAUD, G., ROUCHIER, A., 1978, Structure de la matière enseignées, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève, *Revue Française de Pédagogie*, n° 45.
- HERRON, M.D., 1971, The nature of scientific enquiry, *Shool Review* n° 79.
- HULIN, M., 1983, Quelques «thèses» pour la didactique de la physique. *Journées du CIRDDS*, Marseille.
- JOHSUA, S., 1983, Recherche en didactique et «ingénierie didactique»: exemple de l'électrocinétique au collège, *Ve Journées sur l'Education Scientifique*, Chamonix.
- JOHSUA, S., 1985, *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*, Thèse d'Etat, Marseille.
- KUHN, T.S., 1970, *La structure des révolutions scientifiques* (Flammarion: Paris).
- LAKATOS, I., 1976, *Proofs and refutations, the logic of mathematical discovery*, (Cambridge).
- LANGVIN, P., 1904, *L'esprit de l'enseignement scientifique* (Imprimerie Nationale).
- LEVY-LEBLOND, J.M., 1971, *Physique et Mathématique*, dans *Encyclopedia Universalis*.
- MARTINAND, J.L., 1983, Questions pour la recherche: la référence et le possible dans les activités didactiques scolaires. *Actes du Colloque de la Londe des Maures* (CNRS: Paris).
- MASSAIN, R., 1932, L'énergie et l'électrodynamique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, avril.
- PIONCHON, J., 1916, Sur une prétendue méthode expérimentale d'établissement de la notion de potentiel dans les cours élémentaires d'électrostatique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, avril-mai.
- POPPER, K., 1973, *La logique de la découverte scientifique*, (Payot).
- SCHWAB, J.J., 1962, The teaching of science as enquiry, en J.J. Schwab and P.F. Brandwein: *The teaching of Science* (Cambridge: Mass).