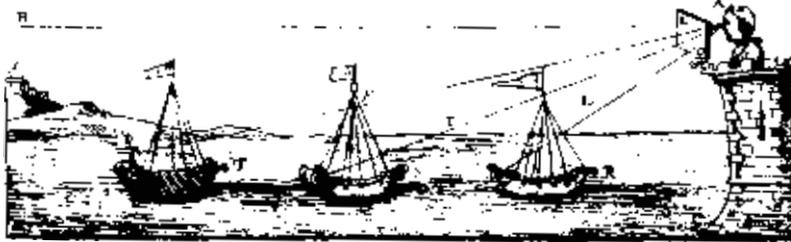


# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



---

## DESARROLLAR UN CURRÍCULO MULTIRREFERENCIADO PARA HACER FRENTE A LA COMPLEJIDAD DE LOS APRENDIZAJES CIENTÍFICOS

ASTOLFI, JEAN-PIERRE  
Universidad de Ruán (Francia).

---

### SUMMARY

Learning does not come from applying a lineal curriculum design but is the result of many interwoven factors. In this article, that summarizes the speech delivered at the *5th International Congress on Science Didactics*, we review some of these factors and show how complex didactic situations can be.

---

Las investigaciones en didáctica se esfuerzan por innovar y experimentar diversos modelos para la enseñanza de las ciencias y evaluar sus efectos. Cada uno lo hace mediante el desarrollo de sus propias orientaciones,

afinando sus hipótesis, preocupándose por mantener una coherencia interna, así como la racionalidad que se espera de un científico. Todo esto es totalmente legítimo desde el punto de vista de la investigación que se ve

obligada a optar por el paradigma en el cual desarrolla sus proyectos y realiza sus publicaciones. También es legítimo desde el punto de vista de la acción práctica, pues cada enseñante se muestra más sensible a ciertas dimensiones de la formación científica que a otras. Algunos han privilegiado así la expresión de concepciones alternativas de los alumnos con el fin de hacer que evolucionen; mientras, otros han insistido más en las condiciones de adquisición efectiva de los conceptos científicos, a la vez que algunos más son más sensibles al carácter experimental de las ciencias y a su valor formativo; finalmente, otros consideran prioritaria la responsabilidad social y la ciudadanía, por ejemplo, en temas de educación para la salud o el medio ambiente.

### LA IRREDUCTIBLE COMPLEJIDAD DE LAS SITUACIONES DIDÁCTICAS

Sea cual sea la orientación, hay que reconocer que, en general, después de un inicio entusiasta, se oscila frecuentemente entre los resultados positivos que nos llevan a afirmar que «esto funciona» (¿Se sabe de experiencias pedagógicas que no funcionen?) y una cierta decepción en relación con las fuertes expectativas iniciales. Es como si la vía pareciera de entrada prometedora, pero como si, finalmente, algo siempre se resistiese... Desearía desarrollar aquí la idea de que esta situación no es desesperante y no debe llevar a la desmovilización sino que, al contrario, corresponde a una realidad que se debe afrontar con el máximo de claridad y lucidez posibles.

#### Objetivos divergentes

Se debería acabar con la idea de un currículo mono-referenciado que –por lo menos en sus objetivos– intentase tratar y resolver globalmente los problemas didácticos. Esto sólo desemboca a efectos de moda, frecuentes en la educación en que se deshecha hoy lo que se adoraba ayer. Numerosos pedagogos actuales insisten en el hecho de que existe un hiato entre la *lógica especulativa* de un programa de investigación y la *lógica praxeológica* de las acciones didácticas que no pueden jamás reducirse a una única modelización, que jamás tienen una aplicación secundaria de lo que primero se había concebido y experimentado. La *lógica praxeológica* siempre debe negociar y articular lo que la *lógica especulativa* se esfuerza por discernir como alternativas. Mientras que la primera elabora *posibles*, la segunda busca *pruebas*. Esta situación es normal en la medida en que la enseñanza de las ciencias debe armonizar objetivos que se sitúan sobre planos totalmente diferentes y que no pueden articularse lógicamente. Citaré especialmente:

– *Objetivos conceptuales*, mediante los cuales se intenta dar una idea de las «redes de lecturas» que hoy en día utiliza la ciencia para entender la naturaleza, la materia, los seres vivos, el hombre y el universo. Cada época de la ciencia ha desarrollado sus propios paradigmas que son edificios teóricos muy elaborados, y nos correspon-

de, en tanto que formadores, iniciar a los alumnos en lo que es parte de la cultura básica actual.

– *Objetivos de estimulación*, por los cuales se realiza un esfuerzo para estimular en el alumno un cierto número de actitudes como la sorpresa, el cuestionamiento, la paciencia, la autonomía, la cooperación, etc. Estas actitudes son sin duda lo que más acerca el niño al sabio, más allá de lo que los separa en el plano conceptual y metodológico. Son estas actitudes las que se tienen inicialmente en la cabeza cuando se habla de «tanteo experimental» en la clase. Podemos añadir los marcos metodológicos que estructuran el dominio de las operaciones lógicas piagetianas (comparación, deducción...).

– *Objetivos de éxito escolar*, respecto a los cuales las ciencias aparecen cada vez más como un instrumento interesante para modificar la percepción que los alumnos tienen de la escuela. Combinan, en efecto, una dimensión de acción, que es esencial en la edad escolar (los niños necesitan experiencias «para ver»), con una dimensión de prestigio que pocas disciplinas pueden invocar. Desde este punto de vista, las ciencias se presentan más bien como una «entrada» para volver a estimular a aquéllos que lo necesitan, pero el interés recaería rápidamente (tanto para los profesores como también para los alumnos) si apareciesen como un pretexto para hacer trabajar más a los alumnos que aspiran a trabajar menos.

– *Objetivos de intervención*, con el objetivo de instaurar comportamientos individuales y colectivos deseables, tanto si se trata de educación para el medio ambiente, para la salud o, incluso, para la formación nutritiva o sexual, etc. Se trata de inculcar normas socialmente deseables –en el sentido no polémico de la palabra, ya que toda sociedad debe hacerlo–, procediendo de tal manera que los alumnos se vean relacionados e implicados, de acuerdo con los preceptos psicológicos de «sumisión libremente consentida». El papel de los profesores de ciencias es aquí particularmente valioso, ya que su especialidad actúa como una legitimación de los valores en juego.

#### La combinatoria imposible

Tales familias de objetivos no se encajan en absoluto como lo harían las piezas de un rompecabezas. Incluso son bastante antagonistas como, por ejemplo, en los puntos siguientes:

– *Autonomía-Heteronomía*: la participación activa de los alumnos en una pedagogía del «descubrimiento», necesaria para ayudarles a acceder al espíritu científico, se opone al hecho de que no podrían reinventar por sí mismos, mediante un «bricolaje escolar», los conceptos adquiridos con gran esfuerzo por la comunidad científica.

– *Saber-Acción*: las experiencias «para ver» difieren de las experiencias «para demostrar» por todo lo que separa la exterioridad en el movimiento de lo que se ha interio-

rizado en el pensamiento, por todo lo que distingue el éxito de una acción de la identificación de un invariante.

– *Crítica-Norma*: la argumentación se lo disputa a la persuasión, ya que se trata tan pronto de liberarse de las ideas comunes mediante la deducción, la confrontación y la refutación, como de interiorizar normas sociales cuando se realizan ejercicios de asimilación.

– *Contenidos-Competencias*: los contenidos, tanto pueden tener por objeto el dominio de los conceptos científicos que se tienen que construir como pueden no ser más que un motivo transdisciplinario de formación general.

– *Metodología-Error*: el conocimiento de algoritmos de métodos y de procedimientos resulta esencial para balizar el camino del conocimiento, pero la explotación de los errores puede proporcionar referencias muy valiosas.

En estas condiciones, se comprende que dos autores célebres, como el filósofo norteamericano Dewey y el epistemólogo francés Bachelard, hayan podido expresarse en términos casi opuestos y, no obstante, no contradecirse, como lo indican estas dos citas «gemelas»:

«Para que el niño se de cuenta de que se enfrenta a un problema real, es necesario que una dificultad le aparezca como *su propia dificultad*, como un obstáculo nacido a lo largo de su experiencia y que debe superar...

»Nada puede *convertirse* en problema para alguien simplemente porque se haya etiquetado de *problema* o aun porque se trate de algo que es difícil o poco atractivo.» (Dewey, J., *L'intérêt et l'effort*, 1985).

«Un educador siempre debe pensar en *alejarse* al observador de su objeto, en defender al alumno contra la afectividad que se concentra sobre ciertos fenómenos, en cierta forma *demasiado interesantes*...

»Antes que nada, hay que saber plantear los problemas. Los problemas no se plantean por sí mismos. Es precisamente este *sentido del problema* lo que caracteriza el verdadero espíritu científico.» (Bachelard, G., *La formation de l'esprit scientifique*, 1934).

### Asumir para ir en contra

Resulta sorprendente leer en dos autores una sensibilidad casi opuesta:

\* En Dewey: La continuidad entre preocupaciones pragmáticas y científicas (las primeras constituyen condiciones de posibilidad de las segundas).

\* En Bachelard: La ruptura epistemológica necesaria para que una actividad de tipo científico se instaure contra el sentido común.

Emplean las mismas palabras, pero con sentidos claramente diferenciados. Así, para Dewey, *obstáculo* y *problema* son sinónimos de dificultades que se tienen que

resolver, mientras que, para Bachelard, el obstáculo es una noción común ya disponible (por lo tanto, no es una dificultad) que ofrece una respuesta a punto de reflexión, lo que impide plantear correctamente un problema. En el primer caso, el problema constituye, pues, un punto de *partida* anclado en el interés y en las motivaciones del sujeto. En el segundo, se trata casi de un punto de *llegada*, ya que hay que romper con el interés pragmático y «deconstruir» el sentido común, puesto que lo esencial ya está hecho... cuando sólo queda resolverlo.

Tanto el uno como el otro no aclaran las mismas dimensiones de la formación científica y, a pesar de su oposición teórica, la responsabilidad de desarrollar una combinación necesaria recae siempre sobre cada enseñante, para:

– por un lado, ir en el sentido de los alumnos, anclar los aprendizajes en sus intereses, sus concepciones y sus planteamientos iniciales, lo que garantiza el significado que pueden otorgar a los aprendizajes (en su defecto, el saber científico sigue siendo externo a ellos y las concepciones alternativas perduran);

– pero, simultáneamente, conducirlos por vías nuevas y impensables por sí mismos, lo cual es una condición para que accedan a conceptos y métodos que implican una ruptura radical con su perspectiva inicial (en caso de que esto no suceda, pueden realizar dócilmente la sucesión de actividades escolares pero sin realmente aprender, en el sentido fuerte de esta palabra).

La primera dimensión corresponde a una *necesidad psicológica* mientras que la segunda responde más a una *exigencia epistemológica*. De ahí la feliz expresión de Giordan sobre la necesidad de «asumir para ir en contra». Insisto en decir que resulta inútil buscar aquí un posible «término medio»; solamente se pueden construir distintas configuraciones pragmáticas en función del modelo didáctico retenido individualmente y de los valores subyacentes de formación.

### La «ley de Ashby»

Así, se comprenderá quizá mejor la curiosa expresión que yo anunciaba en mi título de un *currículo multi-referenciado*. Ningún sistema didáctico coherente puede mantenerse hasta el final sin que se pierdan áreas enteras y esenciales de la formación científica. Sea cual sea la nota dominante, hay que encontrar la manera de dejar sitio a dimensiones alternativas. Si esto no sucede, el sistema didáctico escogido se transforma rápidamente en «espíritu de sistema».

Corresponde a los sistemas complejos el disponer de un subsistema de pilotaje de un orden de complejidad igual al del conjunto del sistema, lo que expresaba el cibernético Ross Ashby cuando decía: «Si la variedad existente de soluciones y regulaciones es insuficiente, el subsistema ya no funciona como regulador sino como reductor». O aun: «Cuando el subsistema regulador no es tan heterogéneo como el sistema que regula, únicamente

regula la parte del sistema que le es homogénea.» (Citado por De Peretti, A.).

Hablar de la complejidad de un sistema didáctico no es una palabra vacía. En efecto, hay que integrar dimensiones irreductiblemente heterogéneas entre sí, como, por ejemplo:

- la variabilidad *psicológica* de los sistemas personales de aprendizaje de los alumnos, tal como la describen la psicología diferencial y la pedagogía diferenciada;
- la variabilidad *sociológica* de las diversas clases de relación con el conocimiento, tal como se interiorizan a partir de la herencia familiar;
- la variabilidad *pedagógica*, que permite distintos casos de un mismo contenido en situaciones de enseñanza diversificadas, lo que permite separar los conceptos de los ejemplos destinados a construirlos; y
- la variabilidad *axiológica*, que corresponde a los valores y las finalidades múltiples en el seno de nuestras sociedades, etc.

### El currículo como un islote de racionalidad

Esta concepción del currículo nos remite a la noción de *islote de racionalidad*, tal como la desarrolla, desde hace algunos años, Fourez. La idea se puede resumir de la forma siguiente.

1. En las esferas que conciernen a la actuación humana y a la toma de decisiones (la didáctica formando parte de ellas), lo real es sólo parcialmente racional, como «placas separadas» que se combinan inevitablemente con otras dimensiones de orden afectivo, social, pulsional, ideológico.
2. Construir un islote de racionalidad, independientemente de sus dimensiones, fuerza a tomar prestado, de una forma selectiva, diversos elementos de campos heterogéneos que, como tales, normalmente no guardan ninguna relación entre sí, y a recombinarlos específicamente con los nuevos objetivos de la acción o de la decisión.
3. Este islote de racionalidad, con todo lo que toma prestado de elementos fiables a distintas disciplinas y con todo lo que comporta de elecciones subjetivas asumidas, mejora al ser explicitado, de tal manera que puede contribuir a los debates democráticos respecto a la escuela y particularmente respecto a la enseñanza de las ciencias.

En otras palabras: en la enseñanza de las ciencias, quizá más que en otras disciplinas, los problemas pedagógicos no pueden resolverse jamás, sino únicamente «trabajarse» (en el sentido como se trabaja la tierra o la madera, sin jamás estar seguros del resultado), «negociarse» (en el sentido del conductor que se enfrenta a una curva) o «amañarse» (en el sentido elogioso que Levi-Strauss daba a este término).

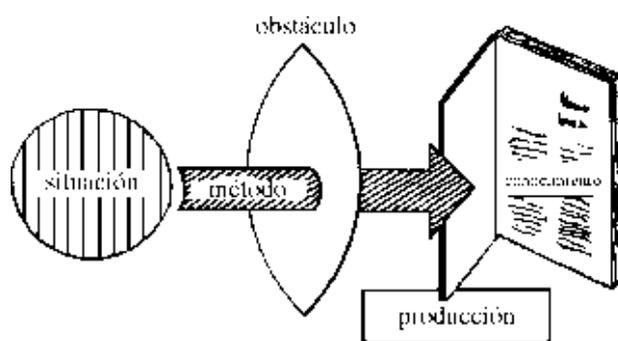
### SOBRE LAS FORMAS DE DIRECCIÓN DE UNA SECUENCIA

En esta segunda parte intentaremos aplicar los principios anteriores a la guía de las actuaciones didácticas en las ciencias experimentales. Mientras que el *currículo monorreferenciado* lucha por elaborar y promover un «idealtipo» para la dirección de una secuencia, el *currículo multirreferenciado* intenta más bien construir decisiones, razonar alternativas, a fin de que, en todo momento, el profesor disponga de un «posible juego». Según los momentos y las oportunidades, puede entonces «calcular» lo mejor posible la lógica que va a privilegiar y, en consecuencia, aquéllas que van a ser desatendidas temporalmente. Esta perspectiva puede remitirse a lo que Tochon llama fácilmente *el profesor estratégico*. Pero la idea de alternativas calculadas no es tan familiar a los enseñantes, ya que cada uno dispone más naturalmente de un modelo personal de referencia y de preferencia, el que se adapta mejor a su formación, a su temperamento y a sus convicciones pedagógicas y que aplica de forma repetida porque le satisface.

#### La noción de forma de dirección

Me he propuesto caracterizar de forma diferencial un conjunto que llamo las *formas de dirección* posibles de una secuencia. Se trata en cada momento de identificar cuál es el elemento determinante del *pilotaje* de la sesión y de asumir su lógica aunque tenga que cambiarla la vez siguiente. El esquema que presento a continuación muestra, sin una pretensión exhaustiva, un cierto número de estas formas de pilotaje posibles: pilotaje por el conocimiento, por la situación, por el obstáculo, por el método, por la producción (Gráfico 1).

Gráfico 1



A menudo, una primera reacción consiste en negar que se trate aquí realmente de alternativas, ya que ello no hace más que rechazar los «ingredientes» necesarios para cualquier secuencia de enseñanza. Una «buena lección», ¿no resulta en efecto de la elección de una buena situación de soporte, de la utilización de un

método científico adaptado al conocimiento que se debe construir y ello superando los obstáculos que se presentan, para desembocar finalmente en una producción? Si bien es cierto que cualquier secuencia bien construida descansa sobre una cierta constelación de estos diversos elementos, otra cosa es determinar, para cada caso, cuál es la «variable independiente» que realmente la dirige y que configura el comportamiento de los elementos subordinados. Examinemos, pues, lo que constituye la base de la lógica de algunas formas de dirección que se han mencionado anteriormente. (No podremos citarlas todas.)

### La dirección por el conocimiento

La «dirección por el conocimiento» corresponde sin duda al tipo de secuencia más extendido en la enseñanza de las ciencias. Se puede tratar de una lección (en el sentido tradicional de la palabra) que presente de forma dogmática una noción, pero también de variables más actuales entre las que predomina el «diálogo pedagógico». Lo que resulta decisivo es que aquí, más allá de modalidades y adaptaciones diversas, el profesor fija como objetivo la presentación sistemática de una noción científica en un tiempo predeterminado y utiliza los medios para conseguirlo. Por supuesto, escucha a los alumnos, solicita su participación, reconsidera personalmente algunas de sus intervenciones, pero actúa sin perder de vista un punto de llegada ya fijado y que se esfuerza por mantener dentro de los plazos de tiempo establecidos. Las actividades y ejercicios propuestos en la clase, los ejemplos introducidos en la lección, no se entienden si no es en función de este objetivo nocional, aun cuando los alumnos imaginan a menudo que son ellos los que están siendo objeto de estudio... De hecho, los ejemplos son *ad hoc* (pueden cambiar, si hace falta, a lo largo de la lección): se trata de un tipo de «teorías materializadas».

El «motor» de este tipo de dirección didáctica, lo constituye el cuestionamiento intelectual especulativo, una necesidad gratuita de aprender por la cual se supone que los alumnos se van a sentir atraídos (lo que comúnmente se llama su motivación). Un tal deseo de saber existe realmente incluso en los alumnos con dificultades, como lo demuestra la frecuencia de su curiosidad y de sus preguntas espontáneas («Díme por qué»). ¡Pero aquí, es más bien el profesor el que hace las preguntas y los alumnos los que deben responder! Se trata de una de las habilidades profesionales más clásicas y que es legítima, siempre y cuando no sea la única forma de funcionamiento escolar. Tiene la ventaja de resultar económica en lo que respecta al tiempo didáctico y obedece a una «buena forma» retórica a la cual el observador exterior a menudo es sensible. Sin embargo, como sucede con toda retórica, este funcionamiento didáctico a menudo corre el riesgo de «girar loco». El juego mayéutico de las preguntas-respuestas rápidamente se codifica, el profesor plantea preguntas orientadas esperando una respuesta predeterminada y los alumnos se esfuerzan por descodificar esta espera del maestro. Perrenoud ha definido esta capacidad de adaptación que hace posible que la

clase descubra el sentido de las preguntas planteadas y proponga al maestro la respuesta que éste espera, como el «oficio de alumno».

Un ejemplo de esta forma de dirección, lo proporcionará una lección impartida en un instituto de enseñanza secundaria<sup>1</sup>, en relación con la introducción de la noción química de *reducción*, palabra que se menciona únicamente al final de la lección. Toda la secuencia está construida alrededor de un ejemplo experimental: la reacción del óxido de cobre calentado con *carbón en polvo*, realizada ante los alumnos de la clase.

1. Un prólogo rápido recuerda las lecciones anteriores (las oxidaciones, la disociación de moléculas en la electrólisis) y propone un tipo de anticipación intuitiva del futuro concepto clave por analogía con la electrólisis.

2. El cuerpo de la lección se construye de forma simétrica mediante:

– una fase de preparación de la reacción química (durante la cual los productos de la reacción se presentan a los alumnos y circulan por la clase; también se recuerda el razonamiento de la ecuación-balance y se pide la esquematización del montaje experimental);

– y después, una fase de explotación del «suceso experimental» cuando la reacción esperada ya ha tenido lugar (caracterización de los productos obtenidos: cobre y dióxido de carbono, escritura individual del balance y de la ecuación, control colectivo en la pizarra).

3. Llega entonces una fase rápida de conclusión que retoma el prólogo en términos casi comparables, pero esta vez con un contenido concreto (la experiencia realizada) y una noción nombrada (la reducción).

El problema es que, debido al tiempo didáctico, siempre limitado, la conclusión se ve interrumpida por el timbre y los alumnos se quedan con la ambigüedad fundamental de saber si han estudiado una noción o si han analizado un ejemplo. En efecto, la esencia de la sesión se ha consagrado al trabajo práctico de realización del experimento y a los consejos metodológicos del profesor, pero no existe en absoluto una descripción fenomenológica de una reacción singular entre C y CuO, en el sentido general que ésta tendrá cuando se vuelva prototípica del concepto de *reducción*. El profesor apunta a este prototipo aun cuando un gran número de alumnos se quedan con el ejemplo. También se quedan con su deseo de saber respecto al ejemplo, ya que éste ha tenido lugar muy rápidamente, debido a las características específicas de la reacción, lenta en arrancar (lo cual explica la larga fase de preparación) y después muy rápida cuando por fin se produce. El profesor incita entonces enérgicamente a los alumnos a mirar de inmediato lo que está sucediendo ante sus ojos, pero el tiempo que se necesita para dejar los tubos de ensayo o para abandonar sus dibujos... ¡Y todo ya ha finalizado! Así, pues, la economía didáctica general no resulta satisfactoria, ni en lo que respecta al ejemplo—a penas entrevisto—, ni en lo que

Cuadro I

<b>1. Base de orientación</b>	Rememoración de las lecciones precedentes y anticipación intuitiva del concepto clave de la secuencia (2 min.).
<b>2. Preparación</b>	Construcción anticipada de marcos materiales e intelectuales de la reacción que se está preparando (presentación de los reactivos, anuncio de las actividades que se van a realizar, esquematización del montaje...) (10 min.).
<b>3. Suceso</b>	Manifestación esperada de la reacción de reducción del óxido de cobre (CuO) por el carbono (C) (45 seg.).
<b>4. Explotación</b>	Descripción de la dinámica de la secuencia, caracterización de los productos obtenidos (Cu y CO <sub>2</sub> ), escritura individual y control colectivo de la escritura de la reacción (10 min.).
<b>5. Conceptualización</b>	Evidenciar el sentido de la reacción que de particular se vuelve prototípica. Introducción del término de <i>reducción</i> , como opuesto a <i>oxidación</i> , ya <i>estudiadas</i> (interrumpida a causa del final de la lección) (2 min.).

respecta al concepto –a penas puesto de manifiesto. Y, no obstante, esta lección se ha llevado a cabo correctamente en lo que se refiere al profesor y las observaciones precedentes no implican que los alumnos no aprendan nada. Gracias a la interiorización del oficio de alumno, algunos son además muy hábiles en descodificar el sentido y anticipar la finalidad de las actividades escolares. Este ejemplo no se evoca, pues, para someterlo a crítica (aun cuando su funcionamiento ha atraído algunas observaciones), sino porque es bastante representativo de un tipo de «dirección por el saber». Pero podríamos describir otras modalidades bastante distintas.

**La dirección por la situación**

La economía didáctica de una secuencia «dirigida por la situación» contrasta claramente con lo que precede. Hemos visto que los ejemplos no eran más que estrategias que favorecían la introducción de una noción y que estaban destinadas a desaparecer tras ella, como máximo, a conservar un estatuto ilustrativo subordinado al concepto. Contrariamente, aquí se trata de un ejemplo complejo que se analiza y estudia por sí mismo, y no como pretexto para teorizar. Son las nociones científicas las que funcionan como instrumentos explicativos de la situación.

En efecto, el «motor» es la explotación, junto con la clase, de un entorno, de una salida fuera de la escuela o de una ocasión fortuita, por los cuales, el interés ya está

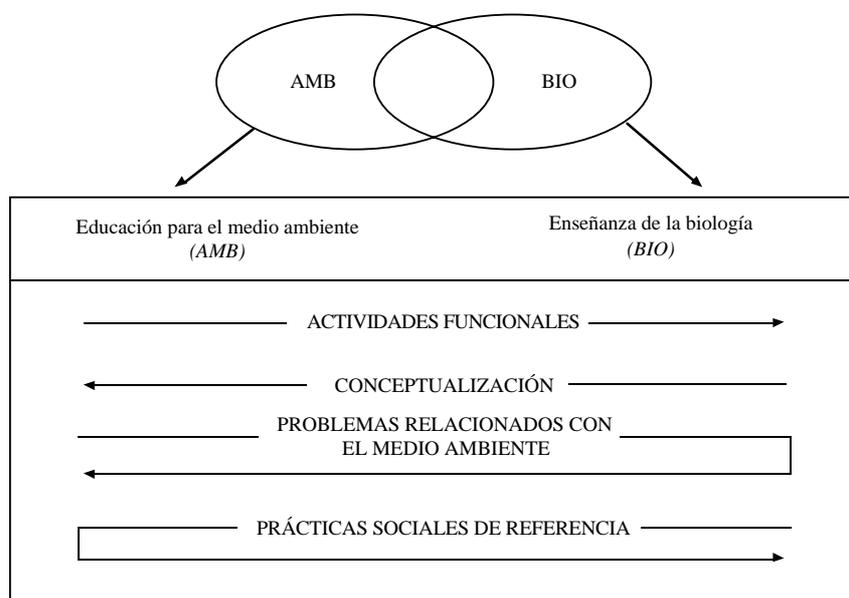
garantizado *a priori*. Para ello se deben movilizar distintos elementos nocionales y metodológicos que permitan a los alumnos acceder a la «comprensión». Pero mantenerse en esta lógica obliga a utilizar sólo parcialmente los marcos teóricos posibles o disponibles, sin jamás «rebasar» el ejemplo, en cuyo caso los alumnos desconectan. Es lo que sucede regularmente cuando se hace una excursión de geología (o a un museo). Toda la clase sigue fielmente las explicaciones del maestro, tanto, que ello le permite comprender la presencia de un fósil que le intriga o la estructura extraña de una capa de terreno, pero se dispersa por todos los rincones de la cantera en el preciso momento en que esto se vuelve un pretexto para «dar un curso». Si bien en la clase los alumnos admiten que los ejemplos no son más que herramientas y que el saber son el verdadero objeto de trabajo, sobre el terreno son sensibles al hecho de que el objeto sea lo real y que las nociones se releguen al estatuto de herramientas al servicio de este objeto. La inversión de los objetos y de los medios entre el ejemplo y el concepto es algo a lo cual los alumnos son sensibles inmediatamente, y no soportan mucho tiempo que la excursión empiece a reproducir el funcionamiento escolar. ¡Si pueden, se escapan!

Esta inversión del estatuto de los conceptos y de los ejemplos también tiene lugar cuando se trata de educar a los alumnos para el medio ambiente o para la salud. De este modo he podido estudiar los vínculos complejos que rigen las relaciones entre la enseñanza de la biología y la educación para el medio ambiente, que se solapan en gran medida pero sin confundirse. Existe una cierta intersección entre sus objetivos, según puede verse en la figura que aparece a continuación. Según los casos, es la biología la que sirve de referente a la educación para el medio ambiente, o al revés, tal como lo indican las modalidades del gráfico 2.

– *Actividades funcionales*: El medio ambiente es una fuente importante de actividades funcionales para la enseñanza de la biología. Se llaman *funcionales* aquellas actividades que se realizan en función de su dinámica específica, con el componente de interés espontáneo que ponen los alumnos, pero también de afectividad, de placer en la acción o en el juego. Así pues, no están directamente orientadas a objetivos o aprendizajes que se especificarían por adelantado, pero constituyen un fondo de experiencia vivido en común por la clase sobre el cual es posible apoyarse si se quiere sistematizar un aprendizaje de biología.

– *Conceptualización*: Al igual que sucede en el caso anterior, el medio ambiente puede proporcionar la ocasión de volver a tratar nociones que han sido presentadas anteriormente en un curso de biología. Hay que reconocer que, si se supone que las nociones del programa deben dar a los alumnos un poder de comprensión y de interpretación, éstos pocas veces llevan a cabo la experiencia concreta... La enseñanza de las ciencias a menudo es motivo de presentación formalizada de nociones (en este caso, ecológicas) sin proporcionar realmente a los alumnos *herramientas teóricas* efectivas para analizar las nuevas situaciones. Para ellos, los contenidos

Gráfico 2



escolares se presentan más bien como una sucesión de enunciados que se tienen que memorizar sin una verdadera conceptualización. La aplicación al entorno permite, pues, que los conocimientos funcionen de acuerdo con una «dialéctica objeto-herramienta», contribuyendo a transformar su carácter *declarativo* en función *operatoria*.

– *Problemas medioambientales*: De un modo algo distinto, diremos ahora que la enseñanza de la biología utiliza a menudo un modo especulativo mientras que la resolución de problemas de medio ambiente se realiza en un modo más pragmático. La primera tiene como obje-

tivo una comprensión distanciada y «fría» mientras que la segunda busca fundamentar lo mejor posible la acción «caliente», aun cuando la oposición no es absoluta. No se trata exactamente de la misma distinción que hallábamos anteriormente en la medida en que ahora no se trata tanto de pasar del declarativo al operatorio (lo que quedaba del orden de lo teórico) como del explicativo al operacional. Las nociones biológicas presentan un cierto carácter de investigación gratuita mientras que el medio ambiente requiere la búsqueda de soluciones empíricas, alternativas y a menudo aproximativas, según el cuadro siguiente, adaptado de Giordan (Cuadro II).

Cuadro II

Enseñanza de la biología	Enseñanza para el medio ambiente
Resolver problemas teóricos ya planteados que admiten una única solución (DOMINANTE DEDUCTIVA)	Saber plantear problemas a partir de una situación vivida, considerando diversas alternativas (DOMINANTE INDUCTIVA)
Limitarse a la resolución de un problema bien circunscrito que primero hay que delimitar y precisar (CONVERGENCIA)	Considerar el conjunto de una situación problemática buscando un máximo de vínculos entre las variables (DIVERGENCIA)
Enfoque centrado en el análisis (REDUCCIONISMO)	Combinatoria de investigaciones múltiples (HOLISMO)
Aplicación de conceptos biológicos a la comprensión (PRÁCTICA TEÓRICA)	Implicación de conceptos biológicos en la decisión (TEORÍA DE LA ACCIÓN)

– *Prácticas sociales de referencia*: Al entorno le corresponde un amplio campo de prácticas sociales que se acaban de mencionar. A cambio, éstas proporcionan una referencia posible para las actividades escolares, según la concepción de Martinand. Esta vez, no se trata de resolver problemas de medio ambiente *in vivo* como de ver la ventaja didáctica que se puede conseguir para renovar el currículo establecido. En efecto, se acaba por ignorar que el saber formalizado de las disciplinas corresponde también a un cierto tipo de prácticas (se trata de las prácticas de laboratorio), cuya hegemonía no tiene otras justificaciones que la fuerza de la tradición, mientras que otras prácticas sociales son candidatas, de forma válida, a una transposición didáctica razonada.

### La dirección por el obstáculo

La economía didáctica de una secuencia «guiada por el obstáculo» también es de naturaleza distinta. Aquí ya no se trata de dar prioridad a la construcción conceptual, ni de explotar al máximo las ocasiones creadas por las situaciones, sino de medir la resistencia didáctica de los obstáculos a lo largo del proceso de aprendizaje. Un gran

número de estudios ha demostrado hasta qué punto resisten las concepciones alternativas de los alumnos. Sin embargo, la noción de *obstáculo* no siempre se comprende de forma correcta.

De una forma bastante espontánea, se tiende a asimilar *obstáculo* y *dificultad*, lo cual, además, está de acuerdo con la etimología de la palabra *obstáculo*: «lo que se yergue delante» (y, por lo tanto, impide el paso). Sin embargo, Bachelard no lo entiende así cuando habla del *obstáculo epistemológico*. Para él, como hemos visto, el obstáculo es un tipo de conocimiento ya disponible, a menudo instalado desde hace mucho tiempo en nuestra cabeza y que ya no percibimos como tal. Lejos de ser una dificultad mental, resulta de una facilidad intelectual que nos otorgamos, muy a menudo sin ser ya conscientes de ello. Y aunque la dificultad sea dolorosa, el obstáculo está confortablemente asentado, de tal forma que se vuelve a él constantemente. Sin duda ésta es, la razón por la cual es tan difícil luchar contra los obstáculos invisibles que renacen constantemente y que claramente nunca se superan del todo. He aquí lo que estabiliza en profundidad las concepciones alternativas de los alumnos y explica hasta qué punto éstos se resisten a los esfuerzos

Gráfico 3



didácticos, pues se entiende que está en la naturaleza misma de los obstáculos el resistir la refutación.

Si el sentido común es de este modo invisible, se puede suponer que no bastará con presentar y explicar, tan racionalmente como sea posible, las nociones de biología para que éste ceda su lugar. Tal como lo afirma con mucha contundencia Bachelard, se debe poder llegar a «pensar contra el cerebro», o aun: «El hombre que reflexiona es como un zurdo contrariado». A falta de ello, permitimos muy fácilmente que cohabiten en nosotros saberes positivos memorizados y disponibles cuando se solicitan, así como obstáculos no rectificables que no esperan otra cosa que la primera ocasión para resurgir sin presentar ningún cambio.

El «motor» de una secuencia pilotada por un obstáculo es, pues, el provocar la toma de conciencia por los alumnos de un funcionamiento mental persistente, haciendo que vuelvan a un «pasado de errores», provocando un tipo de conflicto cognitivo en un clima de cooperación, a fin de sensibilizarlos a la dificultad encubierta. Un ejemplo de ello lo hallaremos en una investigación sobre el trabajo didáctico de los obstáculos respecto a las transformaciones de la materia. Los sistemas de explicación de los alumnos y los errores que éstos cometen parecen «saturados» por la imposición de tres obstáculos:

– Un primer obstáculo recurrente está vinculado a lo que podríamos llamar la «a-percepción» de los elementos no visibles empíricamente. De ello resulta que los sólidos y los líquidos son considerados más fácilmente como materia que los gases. Éstos se evocan cuando se trata de la respiración o de la química (pero, ¿se trata realmente de materia para los alumnos?), mientras que se los «olvida» de una forma bastante sistemática cuando se trata de nutrición, ya que el alimento se considera como una cosa «consistente».

– Otro obstáculo se da cuando existe una aproximación a un «pensamiento categórico» que construye conjuntos desunidos y clasifica cada situación. Cada cuerpo pertenecería así «por naturaleza» a la familia de los sólidos, a la de los líquidos o a la de los gases. Como siempre, se pueden admitir excepciones, ya que ciertos cuerpos como el agua pueden pertenecer a la vez a la familia de los sólidos (hielo) y a la de los líquidos, pero mucho menos fácilmente a la de los gases.

– Un tercer obstáculo se refiere a los aspectos de «valorización-desvalorización» de los diversos elementos. Lo vivo está de este modo siempre sobrevalorado respecto a lo no vivo, y lo químico, por su parte, está sistemáticamente desvalorizado.

Se puede ver claramente que todo esto forma un sistema y que, en realidad, es el conjunto coherente de la red el que obstaculiza, tal como lo ilustra el esquema siguiente. Se ve igualmente que los programas ignoran completamente estos obstáculos y que se puede seguir todo el currículo sin que éstos sean objeto de tratamiento didáctico (Gráfico 3).

Una red como ésta, resistente de obstáculos, interviene plenamente en el tema de la nutrición de las plantas y de la fotosíntesis. Todo está presente y, de resultas, no nos extrañaremos de que ello constituya un escollo tradicional para la enseñanza de la biología. Lo que los alumnos deberían comprender, aceptar e integrar es que las plantas son capaces de fabricar su «propia sustancia» a partir de un gas y, además, de un gas del cual se les dice que es peligroso. Resulta mucho más fácil admitir que las plantas, como se dice muy a menudo, «respiran al revés», sin vincular este hecho a la nutrición. Además, no se considera (como lo atestigua la historia de las ciencias) que tengan un plan de organización invertido respecto a los animales, según el cual las raíces tienen el papel de boca, las ramas son un tipo de patas en el aire con el «tronco» prudentemente en medio. Además, aunque sin guardar una verdadera relación, se pueden memorizar sin comprenderlas historias de almidón y de burbujas de Elodea...

Una secuencia de clase que se lleva a cabo a nivel de enseñanza secundaria ha confirmado la extrema dificultad de los alumnos en superar obstáculos como éstos. El trabajo se centraba sobre la interpretación de resultados experimentales que provenían del Instituto Agronómico (Institut agronomique, INRA) que mostraban que la masa de tomates que puede producir una planta crece en función de la proporción de dióxido de carbono. Ante este reto didáctico, un alumno llamado Pierre-Yves no puede aceptar esta idea de un «CO<sub>2</sub> nutritivo». La profesora le pide que lea en voz alta el siguiente documento del INRA, que se supone que representa un argumento de peso: «El enriquecimiento en CO<sub>2</sub> del aire del invernadero tiene como consecuencia un fuerte crecimiento y una mejora de la formación de los frutos, un aumento del número de frutas por ramillete, un aumento del peso medio y del calibre de los frutos.»

Ante la petición de la maestra, el alumno se queda callado y como bloqueado:

Prof.: –Explícanos por qué no estás de acuerdo.

Pierre-Yves: –Bueno, pues el CO<sub>2</sub> es el dióxido de carbono. Es el gas que expulsan las plantas y no el que... el que absorben.

Prof.: –Bueno, ¿qué es lo que...? ¿Cuando el INRA aumenta la cantidad de dióxido de carbono, ¿qué es lo que comporta esto para los tomates? ¿Qué dice el texto?

Pierre-Yves: (*Mira hacia abajo, hacia el texto.*)

Prof.: –¿Qué es lo que se obtiene cuando se aumenta la cantidad de dióxido de carbono?

Pierre-Yves: (*Hace una mueca.*)

Prof.: –¿Qué es lo que te están diciendo? ¿Qué es lo que se obtiene? (*Muestra el texto.*)

Pierre-Yves: (*No contesta.*)

Alumno de la mesa de al lado: –Se obtiene un aumento de la masa, del volumen y después de la materia.

Prof.: –Sí, se obtienen tomates más grandes, hay un mayor número. ¿Entonces?

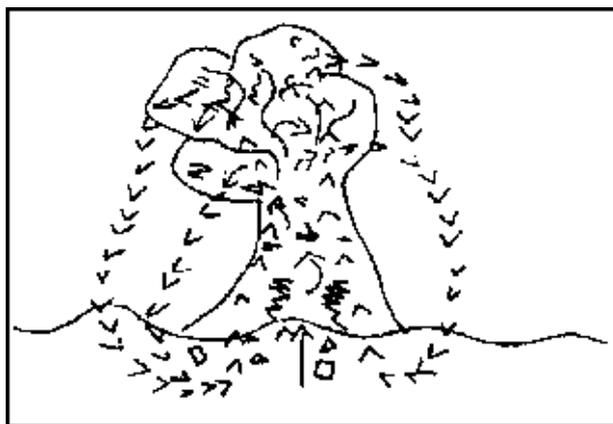
Pierre-Yves: Sí... (Con tono resignado.)

Pierre-Yves literalmente no puede leer la hoja que tiene ante sus ojos, hasta tal punto ésta contradice sus concepciones sobre la nutrición vegetal. Ha tenido que ser su vecino el que lea en su lugar y su aceptación final está lejos de ser entusiasta... No obstante, este mutismo no significa de ningún modo que haya ausencia de actividad intelectual. Al contrario, está perplejo ante la disonancia que no sabe manejar entre sus ideas personales y los datos proporcionados. Vive una clase de imposición paradójica entre su saber personal y lo que descifra del contrato didáctico.

Otra alumna, Gaël, se esfuerza de una forma mucho más activa en examinar las cosas y propone un dibujo bastante extraordinario en el cual combina lo que Pierre-Yves no consigue integrar.

De acuerdo con sus concepciones personales, ella también hace que el CO<sub>2</sub> salga por las hojas de la tomatara (como un gas respiratorio) y, puesto que el profesor explica el papel nutritivo de este gas para las plantas, ella hace que vuelva a entrar por las raíces (como un elemento nutritivo). Este esquema en bucle combina las concepciones previas y el nuevo conocimiento de una forma biológicamente aberrante pero mentalmente satisfactoria, ya que obedece a una «buena forma»: *da vueltas*.

Juliette, por su parte, da primero una respuesta conforme a las expectativas del profesor, aceptando que el aumento de la proporción atmosférica de CO<sub>2</sub> permite obtener



tomates más bonitos. Y es únicamente cuando otra alumna evoca el carácter nocivo de este gas que Juliette se corrige y declara: «Creo que Audrey tiene razón, debemos tener un valor inferior», y explica ahora «que habría demasiado CO<sub>2</sub> y no suficiente oxígeno y que la planta se asfixiaría como un ser humano». Toma en consideración el punto de vista de su compañera y parece retroceder conceptualmente, cuando en realidad no hace más que abandonar la respuesta escolar aprendida para recuperar su propio pensamiento. Se trata, pues, de una «regresión positiva», puesto que el obstáculo, presente en estado latente, puede ahora manifestarse, lo cual es una condición de posibilidad de un aprendizaje efectivo. En el caso de Juliette, el error aparente esconde un progreso real.

En cuanto a Amina, ésta contesta sin dudar: «No es nada extraño, pues bien bebemos agua con gas» (sic!). Este ejemplo muestra así diversas modalidades de errores (incluido el silencio) que atestiguan esfuerzos intelectuales.

GUIADO POR...	NATURALEZA DE LAS INTERACCIONES DIDÁCTICAS
...el saber	Obtención selectiva de una muestra, a partir de lo que dicen los alumnos, de lo que puede hacer «progresar la noción» en el tiempo didáctico impartido.
...la situación	Numerosas preguntas-respuestas de origen alternado: no perder una ocasión de explicar (profesor) <i>versus</i> saber más sobre un detalle (alumnos).
...el método	Instaurar en la clase un «debate científico» en el cual se escuchan y se «pesan» por igual todas las opiniones.
...el obstáculo	Reconsideración colectiva de todo lo que contribuya a «agudizar» el conflicto cognitivo y a desestabilizar el obstáculo.
...la producción	Preguntas espaciadas, de origen alterno, para saber cómo va el proyecto (profesor) o para desbloquear una dificultad (alumnos).

tuales reales de los alumnos por adaptar sus representaciones de un fenómeno a una nueva situación didáctica: por contradicción disonante, por compromiso integrador o por regresión aparente. ¡Únicamente Amina no ha sospechado nada! No hay que considerar los obstáculos como una negación a aprender por parte de un cierto número de alumnos, sino como etapas que les corresponden y de las cuales no pueden escapar. Para que las concepciones realmente «se muevan», debe suceder, pues, que, en vez de dar respuestas conformes a las esperadas, los alumnos las empleen de forma efectiva, y ello pasa por la expresión y el trabajo sobre sus errores y por la necesidad de un trabajo a largo plazo.

En una secuencia guiada por el obstáculo, en cierta manera se vuelve a encontrar la idea de ejemplos *ad hoc* introducidos por el profesor, como sucede cuando la secuencia está pilotada por un saber objetivo. Pero en vez de que estos ejemplos conduzcan a la retórica del oficio de alumno, aquí se han escogido con atención por su capacidad para desestabilizar las ideas establecidas. La sorpresa, el reto, la situación-problema son, pues, esenciales.

Aún se podrían detallar otras formas de dirección posibles, pero los ejemplos antes mencionados debieran bastar para hacer comprender lo que yo entiendo por

currículo multirreferenciado. Ello indica la necesidad de cambiar las lógicas para «atacar» la complejidad del sistema de aprendizaje en diversos frentes alternativos. Según el pilotaje, la naturaleza de las interacciones profesor-alumnos resulta además muy distinta, tal como aparece en el cuadro de la página anterior, y ello confirma que es imposible combinar simultáneamente varias de estas lógicas, ya que siempre hay que escoger. En este campo, como en otros, no escoger... es escoger de todos modos.

### NOTAS

<sup>1</sup> Los ejemplos de secuencias que se muestran en el texto, presentadas a título ilustrativo, se han obtenido de distintos estudios del equipo de didáctica de las ciencias del Instituto Nacional de Investigación Pedagógica (Institut National de Recherche Pédagogique, INRP, París).

• Traducción al español: Beatriz Krayenbühl Gusi.

• Ponencia presentada en el V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Murcia, 10 a 13 de septiembre de 1997).