

EL TRABAJO DIDÁCTICO DE LOS OBSTÁCULOS, EN EL CORAZÓN DE LOS APRENDIZAJES CIENTÍFICOS*

ASTOLFI, J.P.

Equipo de Didáctica de las Ciencias del Institute National de Recherche Pédagogique (INRP).

SUMMARY

The great deal of preconceptions that have been collected in the past years by science education researchers, usually lacks the epistemological component. To consider this component will lead us to a more accurate analysis of the obstacles that a student has to overcome through her/his instruction. In this paper, Astolfi shows the differences between obstacle and preconception, the three stages to overcome an obstacle, and how to use the concept of objective-obstacle to improve science teaching.

INTRODUCCIÓN

Es bastante curioso constatar que, si bien los trabajos relativos a las concepciones de los alumnos —y a los obstáculos para el aprendizaje que éstas revelan— son en la actualidad muy numerosos, en la mayoría de los casos tales obstáculos no se colocan en el corazón mismo de las situaciones didácticas. Por otra parte, se observa en la actualidad un cierto retroceso de la idea de tomar en consideración las representaciones de los alumnos, ya que la experiencia no sólo ha puesto de manifiesto la dificultad que esto entraña, sino también su resistencia a los esfuerzos didácticos. Tal vez no nos hayamos percatado lo suficiente de que una secuencia didáctica, en el momento en que está construida en torno a la superación de un obstáculo, no puede obedecer a la misma economía general que otra, sobre el mismo tema, cuando está construida en torno a adquisiciones de conocimiento. El trabajo de los obstáculos no puede reducirse a introducir fases suplementarias, como la expresión inicial de las representaciones, seguida de otras en las que éstas son tomadas en cuenta y en las que luego se tiene presente su evolución, todo ello sobre un fondo general de organización de las secuencias que permanecería inalterado. Además, es ahí precisamente donde, a mi juicio, se encuentra lo esencial de la discusión con P. Jonnaert, en *Louvain-la-Neuve*, cuyo trabajo pretendía demostrar la eficacia superior de una pedagogía que tiene en cuenta las concepciones de los alumnos (Jonnaert 1988). Para poder aislar experimentalmente esta variable relativa a

la consideración de las concepciones de los alumnos, y para razonar sobre ella manteniendo el resto de variables inalteradas, tuvo que diseñar un curso programado (situación testigo) y añadirle únicamente algunas fases destinadas al trabajo de esas concepciones (situación experimental). Sin ánimo de cuestionar la calidad metodológica de su investigación, no resulta fácil saber concretamente sobre qué trata la prueba, si es que la hay, ya que la mayoría de los intentos de consideración didáctica de las representaciones no se sitúan en este paradigma de la enseñanza programada.

He desarrollado en otra parte la idea de que, dependiendo de la directriz elegida, las secuencias de enseñanza científica pueden obedecer a lógicas claramente contrastadas. He distinguido, por ejemplo, el caso de secuencias reguladas por la explotación didáctica de una *situación* elegida como favorable para la adquisición de un *saber*, para el dominio de un *método* o para la superación de un *obstáculo* (Astolfi 1991). Tal vez se pueda objetar que no existe ahí ninguna contradicción y que toda secuencia bien conducida debe combinar necesariamente estos elementos diferentes entre sí. ¿Qué profesor no pretende, siempre que la situación se preste a ello, llevar a la práctica métodos científicos con sus alumnos, para hacer que adquieran nuevos conocimientos y eliminar de este modo los obstáculos? ¿Quién no sueña con poder conjugar en todo momento ese conjun-

to... sin verse obligado a *elegir*? Esta forma de actuar tan sincrética podría revelarse como un importante obstáculo didáctico.

No se debe confundir *lo que gobierna* una secuencia con lo que se puede obtener de ella de una forma secundaria y derivada. Dependiendo de que la auténtica dominante de la secuencia sea una situación, un método, un saber o un obstáculo, se deberá organizar de forma diferente el trabajo de los ejemplos, así como el *tempo* didáctico, la estructura del diálogo con la clase o la organización del trabajo por grupos, etc. No es verdad que se puedan mantener a la vez todos estos puntos de vista de igual manera, y es posible entrever cuál es el que privilegia cada profesor, incluso inconscientemente, ya que enseñar es en primer lugar decidir, o sea, *eliminar* otras opciones virtualmente posibles (Astolfi 1992).

EL LUGAR DIDÁCTICO CENTRAL DE LOS OBSTÁCULOS

Me propongo mostrar en este artículo cuáles son las condiciones didácticas necesarias para la superación real de los obstáculos por parte de los alumnos, apoyándome en los trabajos del equipo de didáctica de las ciencias del INRP (Astolfi y Develay 1989). De este artículo se desprenderán diversas implicaciones que no serán evidentes de forma inmediata si se conserva el punto de vista director del saber, más o menos influido por la consideración de las representaciones.

El doble estatuto de las representaciones

El estatuto propio de los conceptos científicos es permitir a quien los domina *plantear cuestiones que entren en conflicto con el sentido común* y «enfocarlas» de forma diferente en lo real. Esta característica es tanto más esencial por cuanto los alumnos, por su parte, disponen a menudo de concepciones que funcionan como construcción previa de una representación de lo real, es decir, como un sistema de explicación personal y alternativo.

Examinemos en primer lugar las relaciones que hay entre la idea de *obstáculo* y la de *concepción*, clásica en los estudios de didáctica de las ciencias. Las concepciones aparecen ligadas a cada contexto de conocimiento particular: sabemos que, para cualquier campo del saber científico enseñado (las fuerzas, la corriente eléctrica, la respiración o la reproducción humana ...), los alumnos disponen de ideas previamente construidas —bien identificadas en la actualidad gracias a numerosas investigaciones— y que tienden a perdurar, casi sin sufrir modificaciones, incluso hasta el nivel de la enseñanza superior, a pesar de la importante presión de la enseñanza. A menudo se ha observado un determinado parentesco entre estas representaciones de los alumnos y los *obstáculos epistemológicos* que la historia de las ciencias ha tenido que superar: por ejemplo, representación de las fuerzas y teoría del *impetus* (Viennot 1979) o concepciones de la fecundación y teorías preformistas (Giordan 1987).

Estas concepciones, definidas localmente, son muestra de un *doble estatuto*. En primer lugar, presentan el de un *alejamiento del saber erudito*: si se califica de representación tal o cual respuesta de un alumno a un cuestionario o a una situación-problema, es porque esta respuesta es, en cierta medida, falsa. En este sentido, la concepción representa el *contrapunto* del proyecto didáctico. El profesor se interesa por ella porque ocupa el mismo «nicho ecológico» que el conocimiento científico cuya adquisición pretende. Desde este punto de vista, *la representación se opone al objetivo*, ya que es lo que impide conseguirlo fácilmente en clase.

Al mismo tiempo, estas representaciones tienen el estatuto de una *explicación funcional* para el alumno. Son una forma de conocimiento entre otras, puesto que corresponden a un sistema de interpretación coherente de los fenómenos científicos, construido desde hace tiempo, y que «funciona». Precisamente por esta razón, las concepciones se resisten a la enseñanza y perduran durante toda la escolaridad. Desde este punto de vista, la representación ya no es lo que se opone al objetivo, sino que *se sitúa en el mismo centro del objetivo que se pretende*, ya que su transformación es lo que el profesor va a esforzarse por provocar prioritariamente, además de las definiciones enseñadas relativas al conocimiento.

El «núcleo duro»

Evidentemente, la idea de obstáculo está relacionada con la de concepción, pero puede considerarse más fuerte. No se trata sólo de que los alumnos piensen de forma diferente y que se pueda identificar su lógica cognitiva alternativa, sino sobre todo de que *existe cierta necesidad de mantener este sistema de pensamiento*. Se puede sostener que el obstáculo presenta un carácter más general y más transversal que la concepción: es lo que, en profundidad, la explica y la estabiliza. De hecho, diferentes representaciones, que se refieren a nociones sin vínculo aparente, pueden aparecer, tras un análisis, como los puntos de emergencia de un mismo obstáculo. Por el contrario, varios obstáculos pueden concurrir en la determinación de una representación singular.

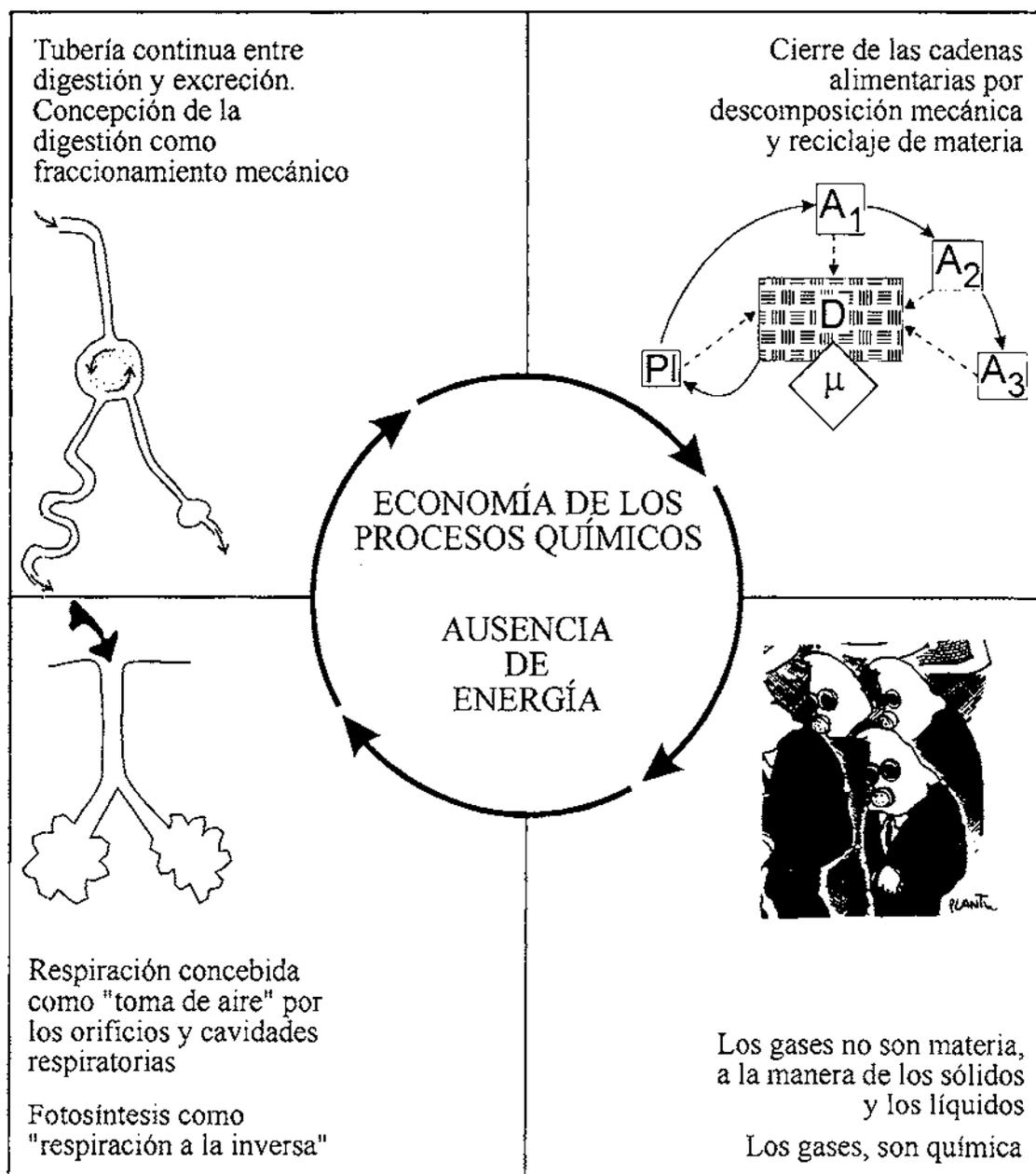
Varias concepciones, un único obstáculo

Laurence Viennot ha demostrado cómo un mismo arquetipo de razonamiento, que denomina junto a Jean-Louis Closset *razonamiento lineal causal*, está presente tanto en dinámica (concepciones relativas a las fuerzas) como en electrocinética (concepciones de la corriente eléctrica). Este razonamiento espontáneo consiste sumariamente en transformar en una sucesión cronológica lo que no depende más que de interacciones puramente lógicas, excluyendo la temporalidad (Viennot, en Bednarz y Garnier 1989).

De este modo, las interacciones entre A, B y C pasan del modo 1:

A actúa sobre B, que actúa (simultáneamente) sobre C

Esquema 1



MODOS DE RAZONAMIENTO SUBYACENTE:

- Uso de modelos homogéneos entre lo macroscópico y lo microscópico.
- Razonamiento por categorías: subconjuntos disjuntos (los gases/los gases no, vivo/ no vivo)
- Concepción restringida de las transformaciones posibles (o a la inversa, transformaciones generalizadas posibles sin restricciones)
- Búsqueda de la "forma buena" (esto funciona)

al modo 2:

A actúa sobre B, que actuará (ulteriormente) sobre C, sin actuar sobre A.

Durante una investigación anterior nos hemos encontrado con el mismo obstáculo en ecología. A menudo, las relaciones alimentarias a lo largo de una cadena trófica son consideradas por los alumnos como depredaciones sucesivas, con englobamiento, como en el caso de las «muñecas rusas», en lugar de interacciones entre los efectivos de las poblaciones *A*, *B* y *C*. Además este razonamiento afecta más a los individuos que a las poblaciones, de forma que, cuando *A* es comido por *B* y éste comido por *C*, *A* y *B* dejan de existir en la cadena alimentaria. ¡Esta concepción hace desaparecer cada especie a medida que es comida!

Otro ejemplo, trabajado en la actualidad en el marco de una investigación INRP, está relacionado con el análisis de los obstáculos en la noción de transformación de materia, tanto para comprender los fenómenos físico-químicos como los fenómenos biológicos (digestión, respiración, fotosíntesis). En el estadio en el que nos encontramos, nos parece que uno de los obstáculos esenciales para muchos alumnos es que *los gases no son materia* (Astolfi et al. 1992). Esta idea se asocia a otra, convergente: se trata de que, en la representación de los alumnos, los gases se asocian con la química, mientras que las transformaciones físicas sólo se refieren a los sólidos y a los líquidos. El esquema siguiente pone en evidencia que este obstáculo central muestra numerosas representaciones situadas en campos de conocimiento distintos y permite darles sentido y coherencia (esquema 1):

– Los fenómenos digestivos se conciben a menudo a partir del modelo de una «tubería continua» junto con la excreción, gracias a la concepción de una unión directa entre estómago y vejiga (Clément 1991). A esto se añade la idea de que la digestión se reduce a una serie de transformaciones mecánicas (Sauvageot 1991);

– La propia respiración, sólo está relacionada con «los gases» y no está ligada a la nutrición. Se reduce a fenómenos de ventilación concebidos como las «aspiraciones de aire» en las cavidades y orificios respiratorios: el aire simplemente penetraría «porque hay un agujero» (Sauvageot 1988);

– El cierre de los ciclos biológicos de un ecosistema está igualmente concebido a partir del modelo de la descomposición mecánica del ser vivo en pequeños fragmentos microscópicos, fragmentos de los que se nutren los vegetales que los aspiran con sus raíces como con pajitas para beber. De este modo se abandona la idea de mineralización, de forma que, en lugar de ciclo biológico, habría que hablar más bien de un reciclaje, como el reciclaje industrial del cristal (Astolfi et al. 1985). Evidentemente, la idea de fotosíntesis es eliminada de una representación como ésa.

Se puede entender la coherencia –y del mismo modo la resistencia– de un obstáculo de esa índole, que probable-

mente afecta a una mayoría de adultos cultos, al término de los estudios secundarios. Todo esto vendría a ser una especie de gran juego biológico de «Lego» mediante el cual los elementos de la materia se unen y se fragmentan indefinidamente. Se trata de un modelo que economiza procesos químicos (ya que no se considera que los gases sean materia) así como energéticos. Presenta la ventaja de obedecer a una *buena forma* satisfactoria para la mente («esto funciona»), y pone en práctica modos de pensar bastante toscos:

– una homogeneidad entre los niveles macroscópico y microscópico;

– el uso del razonamiento por categorías, incluso del pensamiento por parejas («o bien... o bien...»): lo vivo / lo no vivo, los gases / los gases no;

– una concepción demasiado restringida de las transformaciones posibles o, a la inversa (lo que viene a ser lo mismo), la posibilidad de transformaciones generalizadas sin ninguna limitación, siendo posibles las *transmutaciones* o *metamorfosis* en todos los sentidos (Canilhém 1974, Jacob 1970).

Los obstáculos así definidos constituyen una especie de «núcleo duro» de las representaciones. Corresponden a lo que se resiste verdaderamente a los aprendizajes y razonamientos científicos. Hacen posible *separar el sentido* de las representaciones, permitiendo construir su interpretación, porque, sin una caracterización satisfactoria de los obstáculos, las representaciones sólo pueden ser comprendidas en términos de «cartografía estadística», como simples catálogos anónimos de las ideas encontradas en los alumnos.

Varios obstáculos convergentes

Por el contrario, las representaciones relativas a un mismo dominio de conocimiento pueden explicarse por *la conjunción de varios obstáculos* que encuentran en él un mismo punto de aplicación. En un trabajo anterior, al que se ha hecho referencia en esta misma revista (Astolfi 1988), intentamos hacer patente la diversidad de obstáculos que se oponen a la construcción de la noción biológica de *medio*, noción utilizada con frecuencia pero rara vez definida con precisión, incluso en las obras científicas tanto escolares como universitarias (Astolfi y Drouin 1986). Recordemos simplemente algunos de estos obstáculos, a título ilustrativo:

– Un *obstáculo verbal*, ligado a la polisemia de la palabra *medio*. Superarlo supone acceder a la distinción entre un medio geométrico (medio-centro) y un medio biológico (medio-objeto).

– Un *obstáculo tautológico*, ligado a la comprensión del *medio* de cada especie en términos de «medio natural». Superarlo supone abandonar la idea de que cada animal poseería un «lugar propio», en el que se encuentra naturalmente bien, gracias a un «equilibrio» de la naturaleza que colmaría sus necesidades. Así pues, la naturaleza estaría bien hecha y equilibrada, ¡y eso es todo!

– Un *obstáculo antropomórfico*, ligado a una concepción del *medio* como «despensa» de las especies, en la que cada una escogería según sus preferencias. Superarlo supone renunciar a considerar al animal como dotado de una libertad de elección, de una voluntad, y centrarse en el análisis de las necesidades alimentarias características de una especie. Sólo en este caso la expresión *régimen alimenticio* se aleja de su acepción corriente («estar a régimen») para adquirir un sentido biológico.

– Un *obstáculo holista*, ligado a la dificultad de pasar al análisis. Superarlo supone dejar de considerar el *medio* como un todo indivisible o como una cosa (como el aire, el agua o la tierra). Superarlo es llegar a ser capaz de analizar los componentes o los factores (temperatura, humedad, acidez...). Esto supone abandonar un punto de vista estático y sustancialista por una perspectiva más relacional y abstracta (ver *sustancia y función*, en Cas-sirer 1977). Etcétera.

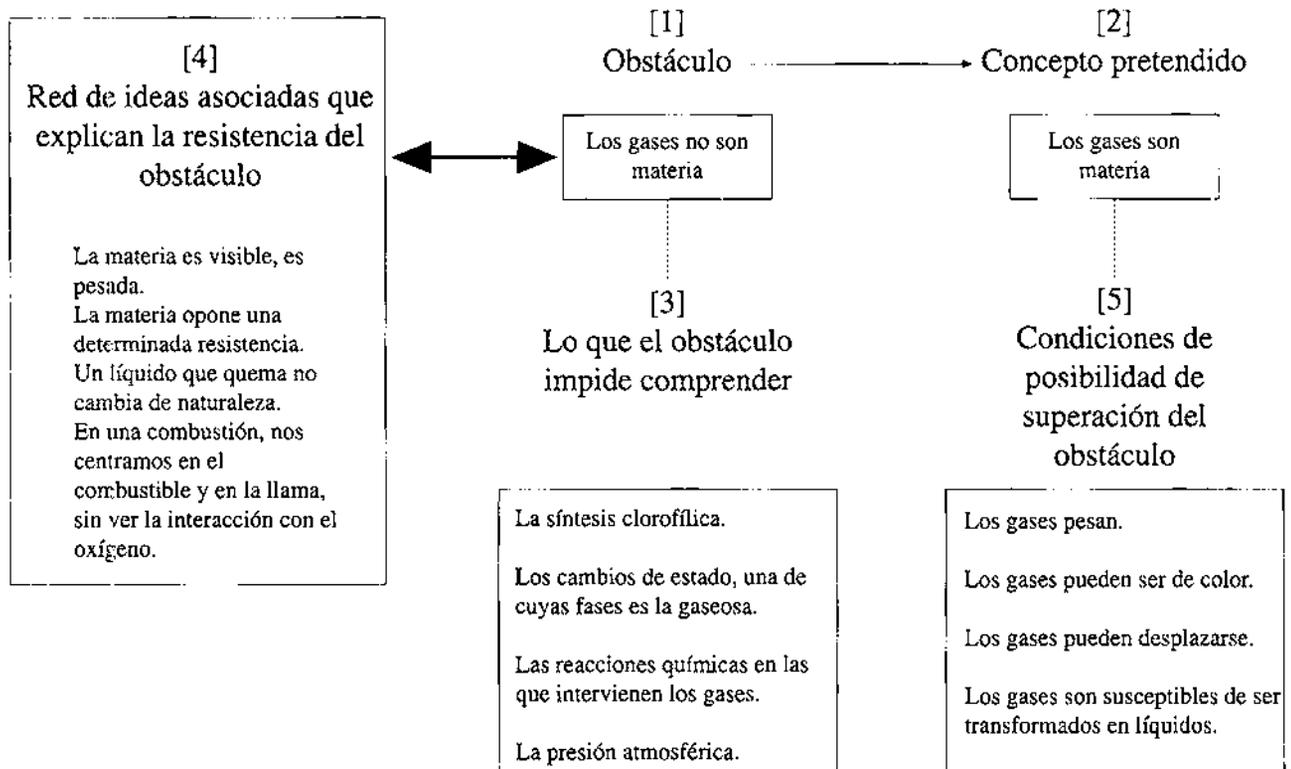
Un esquema del funcionamiento conceptual de los obstáculos

El esquema 2 permite representar el carácter funcional de los obstáculos y comprender mejor las razones de su perduración en el alumno, a pesar de los esfuerzos didácticos. El beneficio derivado del abandono de lo que produce el obstáculo puede resultar un tanto incierto para el alumno, ya que este obstáculo no se encuentra

aislado, sino que pertenece a una red cuyos diferentes elementos se apoyan y refuerzan mutuamente. Se puede distinguir:

- 1) *El obstáculo*, que se resiste al aprendizaje. Por ejemplo, la idea de que los gases no son materia.
- 2) *El concepto pretendido*, que es el contrapunto lógico (los gases son materia).
- 3) *Lo que el obstáculo impide comprender* desde el punto de vista conceptual. Por ejemplo: el hecho de que los vegetales puedan construir su materia a partir del CO₂ atmosférico, difícilmente considerado como un «alimento».
- 4) *La red de ideas asociadas*, que explica la resistencia del obstáculo y justifica que el alumno no abandone tan fácilmente su idea en favor de la que le es enseñada. Por ejemplo: la idea de que la materia es algo visible, pesado, que opone una determinada resistencia. Renunciar a esta idea es difícil, ya que estructura toda la percepción del mundo: si se acepta muy fácilmente la idea de que los gases son materia, entonces ¿por qué no el calor, la electricidad, la energía...?
- 5) *Las condiciones de posibilidad* que se han de producir para que la representación evolucione y el obstáculo pueda ser superado. Por ejemplo, crear nuevas situaciones experimentales que permitan conferir a los gases

Esquema 2



algunas de las propiedades admitidas para la materia sólida o líquida (el hecho de que sean pesados, que se puedan desplazar de un recipiente a otro, que algunos sean de color...).

Lo que provoca con frecuencia que el proceso de aprendizaje sea una especie de «diálogo de sordos» es que el profesor se centra en el concepto que se ha de adquirir (2) y, en principio, ve las representaciones de los alumnos (1) como lo que se opone al éxito de su proyecto (3). Por el contrario, para el alumno, estas mismas representaciones (1), más o menos conscientes, constituyen las herramientas intelectuales con las que piensa, y las conservará mientras siga concediéndoles un valor explicativo (4) superior al que le permite el concepto pretendido (2). En realidad sólo la insistencia del profesor en este punto (5) puede conducir a desbloquear la situación, ya que únicamente en torno a él pueden crearse los dispositivos didácticos que permitan una evolución intelectual posible para los alumnos. Esto será lo que caracterizará una secuencia construida en torno a la superación de un obstáculo, por oposición a otra, organizada en torno a una simple adquisición de saber.

DEL OBSTÁCULO AL OBJETIVO-OBSTÁCULO

Obstáculo general, obstáculo local

Por tanto, si los obstáculos presentan un carácter general que desborda cada representación particular, la cuestión sigue siendo saber si, en el plano didáctico, es preferible (y más eficaz) enfrentarse de forma transversal o si, por el contrario, es mejor tratar sus manifestaciones locales. Por ejemplo: ¿hay que (y se puede) trabajar globalmente el razonamiento causal secuencial ya mencionado o el antropomorfismo?

Si se «tratan» localmente obstáculos de esta índole, se corre el riesgo de fijarse más en las manifestaciones contingentes que en su raíz, y el trabajo deberá ser retomado en cada ejemplo, sin que los alumnos vean necesariamente que se trata del mismo obstáculo. Pero si, *al contrario*, se trabajan más globalmente, hay que asegurarse de la transferencia efectiva de este aprendizaje general en cada situación singular. Hemos visto que desde el punto de vista histórico se tiende, cuando se trata de un auténtico obstáculo, a «volver a caer» en él en la primera ocasión que se presenta. Y la psicología cognitiva actual insiste por su parte en los problemas de la transferencia de aprendizaje, incluso cuando se trata de pasar de una primera situación-problema a otra de apariencia bastante similar.

Por lo tanto, la respuesta a este dilema no puede ser más que dialéctica —es decir, difícil—, jugando con la alternancia de las situaciones, de manera que un mismo obstáculo sea, de forma alternativa, trabajado localmente, luego globalmente, de nuevo localmente, etc.

La noción de objetivo-obstáculo

La noción de objetivo-obstáculo es esencial para construir y gestionar situaciones didácticas. Fue introducida por Jean-Louis Martinand en sus tesis de estado y se esfuerza, como su nombre indica, en hacer interactuar los trabajos y reflexiones, con frecuencia divergentes, que han sido enfocados, unos hacia los objetivos pedagógicos, otros hacia las representaciones de los alumnos, y que jamás se citan los unos a los otros (Martinand 1986). Mientras que los segundos —acabamos de ver— ponen en evidencia la profundidad y la permanencia de las dificultades conceptuales que se oponen a los aprendizajes científicos, los trabajos relativos a los objetivos intentan hacer operacionales los contenidos de la enseñanza... ¡sin ni siquiera interrogarse sobre esos obstáculos!

Ahora bien, Martinand nos dice que, si los obstáculos encontrados tienen una significación profunda en relación con los aprendizajes que se pretenden lograr, son precisamente *estos obstáculos los que tienen que ser planteados en primer lugar para definir los auténticos objetivos*. Una cosa es definir los objetivos a partir del análisis exclusivo de los programas y contenidos (lo que hace la enseñanza frontal, pero también la pedagogía de magisterio), y otra cosa es hacer de la superación de un obstáculo el objetivo verdaderamente buscado.

En la medida en que estos obstáculos tienen una significación epistemológica profunda, creo que proporcionan la clave para formular los fines más esenciales de una educación científica. Dicho de otro modo, se trata de expresar los objetivos en términos de obstáculos superables, ya que entre la diversidad de los objetivos posibles, los objetivos interesantes son los objetivos-obstáculos. [...] Nos parece legítimo hacer de su superación los verdaderos objetivos conceptuales.[...]

Por esta razón, la ambición práctica es proporcionar a los profesores, junto con una lista de obstáculos que deben ser superados por los alumnos, la descripción de la finalidad de las actividades, con el fin de permitir orientar las intervenciones pedagógicas y la evaluación (Martinand, en Bednarz y Garnier 1989).

Si este punto de vista renueva la concepción de los objetivos, centrándolos más en las transformaciones intelectuales que se han de realizar que en los comportamientos observables que se intentan provocar, también renueva la de los obstáculos, puesto que, en lugar de considerarlos en su parte negativa —la del «bloqueo»—, dicho punto de vista examina las condiciones para su posible superación. La metáfora deportiva nos puede servir de aclaración: si la barra que tiene que superar significa para el atleta de salto de altura aquello que lo «bloquea» y le impide pasar al otro lado, podríamos apostar a que no tendrá muchas posibilidades de superarla. Por tanto, tendría que considerarla de otra forma completamente distinta y situarla en el centro del proyecto. Esto confiere a los obstáculos un carácter más dinámico, ya que, en lugar de verlos como aquello que *impide* el aprendizaje, adquieren un carácter de *apuesta conceptual*.

Esta consideración más positiva de los obstáculos que se han de superar no tiene nada que ver con un voluntarismo desenfrenado. No se trata de menospreciarlos (porque rápidamente se volverían en nuestra contra), ni de sobrevalorarlos, sino más bien de realizar un *diagnóstico* para seleccionar los que parecen superables, en un momento dado del curso, organizando una estrategia didáctica coherente en torno a ellos. Así pues, la idea de objetivo-obstáculo funciona, según Martinand, como un modo de selección de objetivos que se revelan pedagógicamente «interesantes», de entre los innumerables objetivos posibles, al estar ligados a la superación de un obstáculo intelectual.

LAS ETAPAS DE LA SUPERACIÓN DE UN OBSTÁCULO

El que un obstáculo lo sea, es precisamente su *resistencia a la refutación*. Por tanto, no basta con que un obstáculo sea objeto de un tratamiento didáctico para estar seguros de que puede ser superado. Si un contraejemplo, por convincente que fuera, resultara suficiente, tendríamos que preguntarnos por el valor de empleo de una palabra tan fuerte. Por ello, algunos obstáculos pueden ser localizados, incluso «fisurados», sin tener la necesidad de superarlos realmente, lo cual no está nada mal, y es sin duda una etapa imprescindible del aprendizaje a condición de que no nos engañemos respecto de lo que está en juego. Dos ejemplos nos permitirán ilustrar este importante punto.

La muñeca... y el acantilado

El primer ejemplo se refiere a una secuencia para niños de 6-7 años, que se inicia mediante una actividad funcional. La maestra propone a los niños que laven el pelo a una muñeca y que después utilicen secadores de pelo dispuestos a este efecto. Por supuesto, el éxito de la actividad está asegurado. Después de que los niños han manipulado el pelo y lo han secado, la profesora deriva sutilmente el tipo de preguntas pasando de un momento lúdico a cuestiones más científicas. Pregunta a los niños *en qué se ha convertido el agua cuando se ha secado el pelo de la muñeca*.

Los alumnos no empiezan diciendo, como ella esperaba, que el agua ha pasado al aire por evaporación; lo primero que dicen es que «ha pasado a la cabeza de la muñeca» (!). Cuando han constatado que no es así, proponen una segunda idea: «Si no está en la cabeza de la muñeca, está en el secador». Tras desmontar el aparato, se descarta también esta segunda idea.

Los alumnos experimentan cierta desestabilización, ya que pueden de visu invalidar sus propias predicciones; pero esto *no basta* para hacerles plausibles las explicaciones sustitutivas de carácter más científico. Por tanto, la maestra desarrolla la idea (con palabras sencillas, adaptadas a los niños de esta edad) de que, si el agua existe en estado líquido y pueden meter las manos en ella, también existe en forma de un gas invisible, en el aire de la clase. Lo único que consigue es provocar una

segunda generación de representaciones en torno a la idea de visible e invisible. Los niños emplean entonces las únicas referencias de que disponen: «el hombre invisible», «papá Noel». Como no disponen de lo que Piaget ha llamado la reversibilidad operatoria y la transitividad, no están en disposición de acceder al sistema de explicación sustitutiva que se les ha propuesto.

Esto no significa —ni mucho menos— que la actividad didáctica les haya resultado inútil. *Han descubierto* que su representación era errónea y probablemente se acordarán de las refutaciones experimentales que les han sorprendido. Pero esto no basta para que el obstáculo pueda ser superado, aunque ello acumule una experiencia compartida en la clase: lo que les falta es la *capacidad de pensar* con el modelo alternativo.

Un segundo ejemplo se refiere a la geología en la escuela elemental. Una clase de 9-10 años realiza una excursión geológica al pie de un acantilado de creta en una playa de Normandía. El maestro pregunta *cómo se ha formado el acantilado*, pensando que los alumnos probablemente hablen de cosas como la erosión marina o el desprendimiento de rocas. Pero de hecho, la explicación imprevista que tiene lugar (y le sorprende) es que «el acantilado fue construido por los alemanes durante la guerra» (!). Con el fin de comprender mejor esta representación, les pregunta qué hay, en su opinión, detrás del acantilado. Nadie propone que detrás pueda encontrarse la continuación de la misma capa, porque ninguno se imagina el acantilado como el límite de erosión en dos dimensiones de una estructura tridimensional. Responden que «detrás del acantilado, hay tierra, hay piedras», y a veces: «hay cuevas».

De hecho, aquí se conjugan dos obstáculos: uno, frecuente a esta edad, y que Piaget habría denominado artificialista, que consiste en atribuir un origen humano, o al menos construido, a los fenómenos naturales (hechos, dicen, por «los señores», por «los hombres»... , y también por «los dinosaurios»!); el otro, al que podemos denominar geométrico, corresponde a la dificultad de considerar la tercera dimensión. Evidentemente, los *bunkers* no están lejos de insinuar una explicación. Pero aparece sobre todo la *metáfora de la fabricación*, la cual indica que el acantilado es visto como una pared en dos dimensiones o, si se prefiere, como un decorado.

Estos obstáculos (sobre todo el primero) se mostrarán resistentes y, como en el ejemplo anterior, no bastará con que se trabajen en el plano didáctico para que sean superados *ipso facto*. Además, los alumnos no disponen de una *alternativa conceptualmente satisfactoria*, condición indispensable para abandonar sin arrepentimiento el anterior sistema de explicación, cuya funcionalidad ha sido resaltada.

Localización, fisuración, superación

Esto nos lleva a considerar tres grados en el trabajo didáctico de los obstáculos. Ya hemos dicho que, si cedían a su primer examen, es que probablemente no se tratara de auténticos obstáculos.

– El primer grado consiste en una *localización del obstáculo*. Corresponde a lo que podríamos llamar una *toma de conciencia* por parte de los alumnos. Sabemos que la mayoría de representaciones, incluso cuando son funcionales, permanecen en gran parte implícitas. El individuo generalmente posee un escaso conocimiento de los procedimientos personales que ha automatizado, y un primer trabajo consiste en expresarlos y objetivarlos mediante el uso de diversos significantes (escritos, grafismos ...).

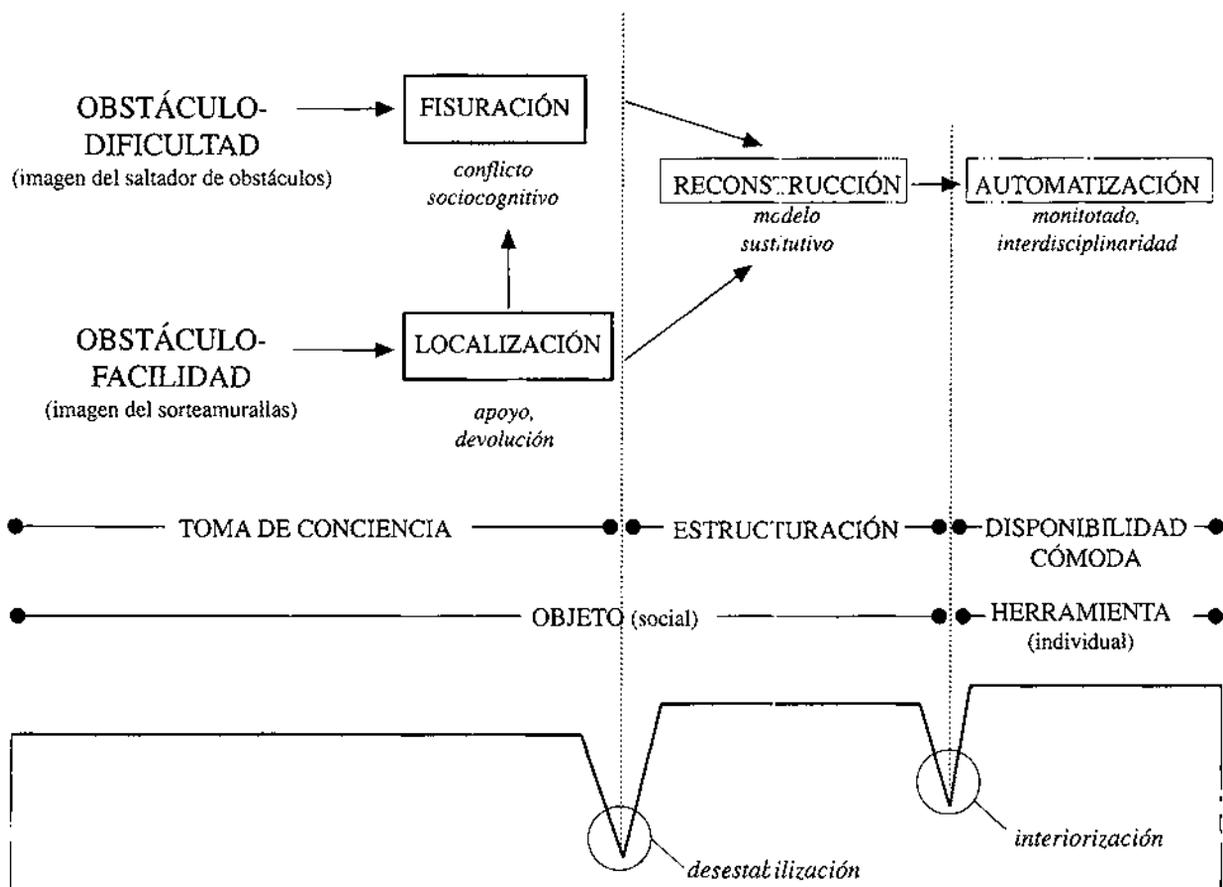
Esto se cumple especialmente en lo que yo llamaría un *obstáculo-facilidad*. En efecto, a menudo los obstáculos sólo se ven como dificultades, siguiendo la analogía del salto de altura. Ahora bien, algunos –y sin duda entre ellos se encuentran los más resistentes– funcionan más bien basándose en una especie de comodidad intelectual que nos concedemos, y a la que regresamos sin ni siquiera darnos cuenta. En tal caso, es necesario completar la analogía deportiva con la del sortea-murallas, dado que, en este caso, el problema no consiste tanto en «saltar» el obstáculo como en aprender a verlo y evitarlo. En los ejemplos anteriores, se da el caso del razonamiento lineal causal, de la concepción del medio como «armonía», pero también del antropomorfismo, etc.

Aquí, evidentemente, la localización constituye una condición previa indispensable para el trabajo didáctico

del obstáculo. La concienciación por parte de los alumnos de su propio modo de funcionamiento intelectual contribuye a identificarlo como tal, incluso cuando su superación no está a su alcance. Y este modo de funcionamiento personal puede ser más explícito mediante el descubrimiento de una diversidad de sistemas interpretativos divergentes en el seno de una misma clase o de un mismo grupo. Aquí reside una de las funciones esenciales de lo que se denomina a menudo «la emergencia» de las representaciones. Probablemente es una ilusión pensar que bastará con este procedimiento para producir una superación, pero no podemos negar su función de intermediario en el proceso didáctico.

–La *fisuración del obstáculo* sólo se podrá evocar por medio de la memoria, ya que es el nivel en el que pensamos inmediatamente cuando se construye un dispositivo para considerar las representaciones, en el que se situaban exactamente los ejemplos anteriores. La *fisuración* se produce cuando se manifiesta una *desestabilización conceptual*. En este plano actúa principalmente el *conflicto sociocognitivo*, destacado por la escuela ginebrina de psicología social cognitiva (Perret-Clermont 1979, Doise y Mugny 1981). La oposición entre puntos de vista, o la diferencia de enfoque entre estudiantes de nivel similar, aparece, gracias a estos trabajos, como un motor fundamental del progreso intelectual. La confrontación entre representaciones di-

Esquema 3



ferentes en el seno de un mismo grupo-clase constituye una de las modalidades más frecuentes, desde el momento en que los alumnos aceptan cooperar para reducir sus divergencias interpretativas o para decidir entre concepciones alternativas.

—La *superación del obstáculo* representa el final del proceso. Esta necesita, como se ha dicho, que se disponga de un *modelo explicativo alternativo*, que además sea mentalmente satisfactorio: aunque el profesor pueda esforzarse en facilitar un nuevo modelo, el hecho de que el alumno lo integre o no es algo que se le escapa ampliamente. En cierto modo recuperamos la problemática de Vygotski, que ha vuelto a ejercer influencia en la actualidad psicológica de estos últimos años (Vygotski 1985, Riviere 1990). Vygotski insistió en el papel central del lenguaje interior para transformar en un aprendizaje personal lo que en un primer momento constituye un éxito de carácter social: según él, es necesario hacer posible *el paso de lo intersíquico a lo intrapsíquico*. Dicho de otro modo, lo primero que se desprende de la mediación (y que podría corresponder a lo que he llamado la fisuración del obstáculo) más tarde debe ser objeto de una consolidación interiorizada. La *función de apoyo*, de la que habla Bruner, presenta pues un carácter esencial pero transitorio, que precede a la automatización de nuevos procedimientos explicativos. En otras palabras, el alumno debe construir primero y de forma activa nuevas herramientas conceptuales, para después intentar hacerlas funcionar en contextos nuevos, antes de disponer de ellas cómodamente.

El esquema 3 permite resumir las cosas de forma sinóptica:

a) La superación de un obstáculo precisa varias operaciones intelectuales que no se efectúan necesariamente en el mismo momento del aprendizaje: la localización del obstáculo, su fisuración, una reconstrucción alternativa y la automatización del nuevo modelo. Aquí no se trata de etapas obligadas que tengan que respetar dicho orden. Si se trata de un obstáculo-facilidad (por tanto invisible para el alumno), su «fisuración» puede preceder a la «localización», que sólo se efectuará más tarde, al hacerse consciente el alumno de la significación de la actividad anterior.

b) Una parte de esta actividad necesita interacciones sociales: puesta en marcha de conflictos sociocognitivos entre alumnos y función de apoyo desempeñada por el profesor para *implicar a la clase* en el problema planteado (Bruner 1983) para hacer que funcione una *devolución del problema* evitando que, por medio del juego del diálogo pedagógico, la respuesta sea «sugerida» en vez de ser construida (Brousseau 1986).

Esto supone un *primer salto conceptual*, resultante de la desestabilización de las concepciones anteriores, pero además existe un segundo salto que pocas veces es mencionado: el que permite pasar de la reestructuración conceptual al uso automatizado del nuevo modelo. Este segundo *salto conceptual* corresponde a lo que expresa Vygotski cuando dice que *cada función psíquica superior aparece dos veces en el transcurso de la historia de un sujeto: primero como función intersíquica y más*

tarde, la segunda vez, como actividad individual, como propiedad interior del pensamiento del niño, como función intrapsíquica.

c) Con motivo de dichas etapas, volvemos a encontrar la *dialéctica objeto-herramienta*, descrita por la didáctica de las matemáticas (Douady 1986). En el momento de la estructuración, el nuevo modelo sustitutivo funciona primero como objeto conceptual; poco a poco, con la automatización de su uso, va adquiriendo el estatuto de herramienta. Esta evolución de objeto a herramienta puede conseguirse mediante el tránsito conceptual de una disciplina a otra. O también cuando, en una relación de ayuda mutua o de monitorado, el alumno debe hacerse cargo personalmente de la presentación de la noción como medio para apropiarse mejor de ella (los profesores saben perfectamente que no hay nada mejor que explicar un tema a otra persona... ¡para comprenderlo bien uno mismo!).

DIVERSAS MODALIDADES DEL TRABAJO DE LOS OBSTÁCULOS

Como los aprendizajes escolares no pueden reducirse a una «carrera de obstáculos» sucesivos, podemos preguntarnos cómo articular los dispositivos de aprendizaje centrados en un obstáculo concreto con otras situaciones en las que se trabajan implícitamente varios obstáculos. Esto nos lleva a distinguir varias maneras bastante diferentes de integrar la idea de objetivo-obstáculo en la práctica.

Un modo de selección del objetivo de una secuencia

Una primera modalidad consiste en construir explícitamente secuencias en torno a la superación de un obstáculo previamente determinado (Meirieu 1988). Esto supone una reacción contra la actual falta de rumbo de que adolecen los métodos activos, según los cuales los aprendizajes seguirían *una espiral* y se inscribirían a largo plazo. El problema es que, aunque este punto de vista esté ampliamente aceptado en la actualidad, especialmente tras la aparición de los trabajos de Bruner, se traduce con frecuencia en una falta de precisión —e incluso de ambición— en lo que nos proponemos enseñar en cada «vuelta de la espiral».

En cierto modo, todo se desarrolla como si los profesores procedieran por *prevención*, enviando el trabajo de los obstáculos o bien hacia arriba (si se trata de la problemática de los *prerrequisitos*, a falta de los cuales nos consideramos desarmados), o bien hacia abajo (si nos contentamos por el momento con un *enfoque* conceptual, sin precisar exactamente de qué depende, y dejamos para más tarde el progreso decisivo), o incluso lateralmente (en el círculo privado del trabajo personal del alumno). En resumen, *el momento clave del aprendizaje es, con frecuencia, fugitivo.*

Centrar algunas fases didácticas en una superación explícita de obstáculos supone evidentemente que la elección

de éstos esté especialmente «razonada» (y limitada en número), con el fin de garantizar que la inversión didáctica se dirige hacia un punto clave que merece la pena. Como decíamos en la introducción, la lógica de construcción de semejantes secuencias será contrastada en relación con otras, orientadas por la explotación abierta de una situación favorable o por la adquisición de conocimientos y métodos. Volviendo al ejemplo anterior, relativo al acantilado, está claro que podemos orientar una o varias sesiones en torno a nociones geológicas relativas a la estratigrafía de los estratos sedimentarios, al orden de superposición de los estratos y a su edad relativa, a la presencia y significación de fósiles, etc., todo ello sin enfrentarse realmente a los dos obstáculos mencionados anteriormente («artificialista» y «geométrico») que los profesores encuentran en estas situaciones, así como los geólogos universitarios. Su superación efectiva supondría que los problemas son propuestos de otra manera y que los alumnos son conducidos a plantear conclusiones diversas y por anticipado; por ejemplo, construyendo diversas representaciones posibles de la sucesión de estratos y confrontándolas con lo real. Sabemos cuánto tiempo ha empleado la geología en clarificar esta cuestión a lo largo de su historia (Gohau 1987).

Una herramienta para regularizar las intervenciones didácticas

El texto de Martinand refleja otra modalidad didáctica. Las secuencias didácticas no están *calibradas* en torno a un obstáculo predeterminado, sino que, por el contrario, obedecen a la lógica más flexible de un procedimiento de investigación autónomo. El reducido número de objetivos-obstáculos sirve entonces de referencia al profesor: la gestión del procedimiento le ayuda a «leer» mejor las dificultades de los alumnos que se enfrentan a la actividad didáctica, a precisar el diagnóstico y a orientar la naturaleza de sus intervenciones. Si bien cada objetivo-obstáculo no sirve para construir una sesión particular, permite, al menos, observar a los alumnos, ayudarlos, guiar las intervenciones individualizadas y evaluar lo adquirido.

El objetivo-obstáculo se utiliza aquí en primer lugar para *regular los currículos científicos abiertos*. Esta idea de *currículo* abierto es importante en la primera iniciación científica de los alumnos, en la escuela elemental y primaria, y ha sido recientemente recuperada por el *Conseil national des programmes français*, que precisa que «el mayor peligro [sería] transformar las actividades que tienen interés propio en pretextos para las adquisiciones de competencias definidas *a priori*, y que fueran las únicas valoradas». Si la elección de las actividades científicas presenta cierta autonomía en relación con los objetivos, éstos se convierten *ante todo en herramientas para ayudar a los maestros en su observación de los alumnos y en la organización de las actividades*. Dicha concepción de los objetivos no pretende describir todas las competencias consideradas, evita la división de objetivos cuando se presentan simplemente en forma de listas. También evita definir las actividades e incluso los

temas de estudio a partir de una lista de objetivos generales.

Semejante concepción del currículo abierto y del lugar que en él ocupan los objetivos, con igual importancia que los contenidos y los procedimientos, está ilustrada por el sugerente esquema de Martinand (1986, p. 111):



Este autor más bien defiende que las actividades didácticas no están completamente determinadas por los objetivos previamente definidos (aunque exista esta posibilidad). Pueden resultar tanto de decisiones que tratan sobre los contenidos como de una reflexión sobre los procedimientos; y en estos dos últimos casos, la caracterización de los objetivos es una preocupación secundaria. Por tanto, la idea de objetivo-obstáculo proporciona a los profesores *indicadores disponibles* que consiguen tener en mente en el curso de la actividad científica, ya que los objetivos-capacidades surgidos de la *programación por objetivo*: son demasiado numerosos para pretender desempeñar esta función.

Una referencia para la construcción curricular

La gestión didáctica de los obstáculos también puede considerarse de un tercer modo, que se ha ilustrado anteriormente con el ejemplo del concepto biológico de *medio*. En efecto, una misma noción puede ser examinada desde el punto de vista de la diversidad de obstáculos que se oponen a su construcción, y dichos obstáculos pueden ser jerarquizados y modelizados de manera que orienten una construcción curricular a largo plazo. Así pues, queda por establecer una jerarquía entre estos obstáculos, precisando las formulaciones que pueden ser asociadas a cada uno de los niveles.

Una orientación de esta índole (incluso prospectiva) aparece como una posible salida para construir una «pedagogía en espiral» digna de ese nombre. El objetivo-obstáculo constituye en este caso la señal que permitirá identificar el progreso intelectual que se alcanzará en cada momento del aprendizaje. Esto cambia los famosos «enfoques de contenido», evocados anteriormente de forma crítica, que yo calificaría más bien de «pedagogías circulares», en la medida en que no podemos identificar exactamente en qué difiere el nuevo procedimiento del anterior, más allá de la introducción progresiva de un léxico especializado. Esto puede contribuir a impulsar el interés de los alumnos por temas que de otra manera se revelan insulsos y carentes de desafío intelectual para ellos.

CONCLUSIÓN

Comprendemos mejor por qué la simple consideración didáctica de las representaciones de los alumnos y su trabajo a partir de conflictos sociocognitivos han podido resultar decepcionantes a pesar de la gran cantidad de estudios didácticos dedicados a este tema.

Estas representaciones constituyen la manifestación de obstáculos subyacentes, cuya tenacidad se justifica por su función explicativa para los alumnos. Los obstáculos no cederán a menos que la enseñanza científica permita construir alternativas razonables y accesibles al intelecto. Esto no puede hacerse mediante una operación única, ya que es necesario, sucesivamente, concienciarse de

dichos obstáculos, trabajarlos por confrontación, disponer de nuevos modelos accesibles a la mente, etc. Todo ello supone la elaboración de fases contrastadas en la enseñanza científica, obedeciendo a diversos puntos de vista directores. La puesta a punto de secuencias dedicadas a la superación de un obstáculo constituye un elemento importante de esta diversificación.

NOTAS

* Nueva versión del artículo publicado en la revista Aster, 16, 1993, pp. 103-141. Traducido del francés por Oriol Sánchez y revisado por Óscar Barberá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTOLFI, J.P. et al., 1985. *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. (INRP: París).

ASTOLFI, J.P. y DROUIN, A.M., 1986. Milieu, *Aster*, 3, pp. 73-110.

ASTOLFI, J.P., 1988. El aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos, *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), pp. 147-155.

ASTOLFI, J.P., 1991. Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences: l'exemple de la géologie a l'école élémentaire, *Aster*, 13, pp. 157-186.

ASTOLFI, J.P. y DEVELAY, M., 1989. *La didactique des sciences*. (PUF: París).

ASTOLFI, J.P., 1992. *L'école pour apprendre*. (ESF: París).

ASTOLFI, J.P., PETERFALVI, B. y VÉRIN, A. (coord.), 1992. Recherche ROOSA (Objectifs-obstacles et situation d'apprentissage autour du concept de transformation de matière), documentos de trabajo provisionales núm. 1 y 2.

BEDNARZ, N. y GARNIER, C. (dir.), 1989. *Construction des savoirs. Obstacles et conflits*. (Agence d'Arc: Ottawa).

BROUSSEAU, G., 1986. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), pp. 33-115 Trad.: 1993, *Lecturas en didáctica de las matemáticas: Escuela Francesa*, pp. 1-67. (Ed. E.A. Sánchez Sánchez y G. Zubieta Badillo, Departamento de Matemática Educativa: México, DF).

BRUNER, J.S., 1983. *Le développement de l'enfant: savoir faire, savoir dire*. (PUF: París).

CANGUILHEM, G., 1974. Artículo «Vie», en *Encyclopaedia Universalis*.

CASSIRER, E., 1977. *Substance et fonction*. ed. original de 1910. (Minuit: París).

CLÉMENT, P., 1991. Sur la persistance d'une conception: la tuyauterie continue digestion-excrétion, *Aster*, 13, pp. 133-156.

CONSEIL NATIONAL DES PROGRAMMES, 1991. Déclaration sur l'enseignement des sciences expérimentales, *Bulletin officiel de l'éducation nationale*, 8, 20 febrero de 1992. (Ministère de l'Education nationale et de la Culture: París).

DOISE, W. y MUGNY, G., 1981. *Le développement social de l'intelligence*. (InterEditions: París).

DOUADY, R., 1986. Jeux de cadres et dialectique outil-objet, *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), pp. 5-31. Trad.: 1993, *Lecturas en didáctica de las matemáticas: Escuela Francesa*, pp. 68-87. (Ed. E.A. Sánchez y G. Zubieta, Departamento de Matemática Educativa: México, DF).

GIORDAN, A. y DE VECCHI, G., 1987. *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. (Delachaux et Niestlé: Neuchâtel, París). Trad.: 1988, *Los orígenes del saber*, (Díada: Sevilla, 1988).

GOHAU, G., 1987. *Histoire de la géologie*. (La Découverte: París).

JABOB, F., 1970. *La logique du vivant*. (Gallimard, NRF: París). Trad.: 1988, *La lógica de lo viviente*, (Salvat: Barcelona).

JONNAERT, P., 1988. *Conflits de savoirs et didactique*. (De Boeck: Bruselas).

MARTINAND, J.L., 1986. *Connaître et transformer la matière*. (Peter Lang: Berna).

MEIRIEU, P., 1988. *Apprendre... oui, mais comment?*, 3ª ed., ampliada con una guía metodológica (ESF: París).

PERRET-CLERMONT, A.N., 1979. *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. (Peter Lang: Berna).

RIVIERE, A., 1990. *La psychologie de Vygotski*. (Pierre Mardaga: Lieja).

SAUVAGEOT-SKIBINE, M., 1988. *Obstacles et conditions de possibilité à la construction du concept de respiration pulmonaire chez l'homme, en classe de 6ème*, Memoria de DEA. Universidad de París 7.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M., 1991. La digestion au collège: transformation physique ou chimique?, *Aster*, 13, pp. 93-110.

VIENNOT, L., 1979. *Raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. (Hermann: París).

VYGOTSKI, L.S., 1985. *Pensée et langage*. ed. original de 1934. (Ed. sociales: París).