

LA PSICOLOGIA COGNITIVA Y LA EDUCACION CIENTIFICA^{1,2} (Cognitive Psychology and scientific education)

Juan Ignacio Pozo

Departamento de Psicología Básica
Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Madrid
28049 Madrid, España

Resumen

El conocimiento disciplinar específico ha sido durante muchos años el criterio principal de elaboración de los currículos escolares. De esta forma, para casi todas las edades, los currículos, sobretodo los de Ciencias, han respondido a una misma organización y a contenidos muy similares. Hoy, sin embargo, se admite la necesidad de tener en cuenta otros criterios en la toma de decisiones sobre los contenidos, como por ejemplo la fuente psicológica. La tradición constructivista de la educación científica, en particular, salienta el conocimiento de las capacidades cognitivas de los alumnos para aprender Ciencia. En el presente artículo se analizan críticamente los aportes que a este respecto han brindado los enfoques piagetiano, de las concepciones alternativas y de las teorías implícitas, enmarcadas en esta tradición, y sus posibles implicaciones para la elaboración de currículos en Ciencias.

Palabras clave: currículo; educación científica; operaciones formales; concepciones alternativas; teorías implícitas.

Abstract

For many years, specific content knowledge has been the main criterion for curriculum design. Consequently, school curricula, specially in science, had almost the same kind of organization and the same contents. Today, however, it is recognized that other criteria must be taken into account in curriculum design such as, for example, the psychological source. The constructivist tradition in science education, for instance, emphasizes students' cognitive capacities. In this paper a critical analysis is carried out regarding the contribution of the Piagetian, misconceptions, and implicit theories approaches to curriculum design.

Key-words: curriculum; science education; formal operations; misconceptions; implicit theories.

Introducción: la influencia de las características psicológicas de los adolescentes en el diseño del currículo

Durante muchos años ha predominado en la Educación, sobre todo a partir de la Educación Secundaria, una tradición academicista, según la cual el criterio principal -si no el único- para la elaboración de los contenidos escolares era el conocimiento disciplinar específico, de tal manera que a casi todas las edades los currículos de cada materia (por ej., los de Ciencias de la Naturaleza) respondían a una misma organización y a unos contenidos muy similares: la lógica de las disciplinas científicas. Sin embargo, por diversas razones que no debemos analizar aquí, sin menoscabar la importancia de este criterio en las decisiones curriculares, se admite cada vez más la necesidad de tener en cuenta otros criterios (u otras fuentes) en la toma de decisiones sobre los contenidos y su organización.

¹ Artículo invitado.

² Este trabajo es producto de diversas investigaciones realizadas en los últimos años con el apoyo del C.I.D.E. y de la D.G.I.C.Y.T. que actualmente está financiando un Proyecto dirigido por el autor (PB94-0188), del que están tomadas algunas de las ideas aquí desarrolladas.

Uno de esos criterios relevantes para el diseño del currículo en cualquier área y etapa son las características psicológicas de los alumnos. Estas características pueden agruparse en tres aspectos: su desarrollo afectivo y emocional, el desarrollo cognitivo o intelectual y la forma en que aprenden. Habitualmente, cuanto más pequeño es el alumno, cuanto menor es su edad y por lo tanto mayores son sus diferencias psicológicas con los adultos, más se tienen en cuenta estos aspectos. Parece obvio que en preescolar o en las primeras edades de la escolarización se tiene mucha más sensibilidad a las peculiaridades psicológicas de los alumnos. Así, "la ciencia en el parvulario" no se presenta como tal, sino como un conjunto de actividades dirigidas a desarrollar capacidades de procesamiento, conceptualización y comunicación en los niños. Pero a medida que va aumentando la edad este criterio va perdiendo peso en las decisiones educativas. A medida que el alumno va pareciéndose más a un adulto, la "fuente psicológica" va perdiendo influencia en las decisiones frente a la "fuente disciplinar". Los currículos se van estructurando cada vez más en torno a disciplinas específicas (Física, Química, Biología, etc.) y menos de acuerdo con las características y necesidades de los alumnos.

Este cambio, sin duda necesario atendiendo a criterios meramente disciplinares o académicos, teniendo en cuenta la especialización creciente del conocimiento científico, suele hallar su punto de inflexión precisamente en la etapa educativa que se corresponde con la adolescencia, en torno a los 12-14 años, donde se encuentran dos "culturas educativas" distintas, dirigidas a fines educativos diferentes y con propuestas curriculares a veces opuestas. Por un lado, los propósitos "generalistas" de una Educación Primaria Obligatoria, donde prima la idea de una "ciencia para todos", como parte de una cultura científica solidaria y común a todos los ciudadanos, impartida por educadores con una formación más pedagógica y general en los contenidos. Por otro lado, una Educación Secundaria, hasta ahora no Obligatoria en la mayoría de los países de Iberoamérica, donde de pronto aparecen las disciplinas específicas (Física, Química, Biología, etc.) como contenidos diferenciados y especializados, dentro de un ciclo impartido generalmente por especialistas en esas materias con escasa formación pedagógica inicial y que tiene por objeto, explícito o implícito, la presentación pormenorizada del corpus de conocimiento de cada una de las materias, de acuerdo con la lógica y los criterios de cada una de las disciplinas, asumiendo que adquirir una cultura científica básica requiere adoptar el punto de vista del especialista en cada una de esas materias, con escasa consideración por las variables psicológicas que puedan afectar a ese aprendizaje.

En este territorio fronterizo entre la Educación Primaria y el Bachillerato, entre la formación básica y globalizadora y la especialización del conocimiento, es donde queremos situar este trabajo. Se trataría de proponer una transición paulatina, en lugar de un cambio brusco como es usual, de forma que la Enseñanza de la Ciencia entre los 12 y 14 años estuviera dirigida a completar esa "alfabetización científica" consistente en la ciencia para todos, mediante un acercamiento a la lógica del discurso científico como una forma distinta de conocer la realidad que nos rodea. Este debería ser, en nuestra opinión el fin o la meta de la educación científica en esta etapa, pero no su medio o el criterio para organizar los contenidos en el currículo, que, partiendo de la estructura de la educación científica en la Educación Primaria deberían basarse en las características psicológicas de los alumnos para desarrollar en ellos formas de pensamiento más próximas al conocimiento científico.

En las próximas páginas intentaremos resumir de modo comprensible algunas de las características psicológicas de los alumnos que afectan al aprendizaje de la ciencia en estas edades, así como sus implicaciones para la Educación Científica. De los aspectos antes mencionados sobre la psicología de los alumnos, restringiremos nuestra exposición, por obvias limitaciones de espacio, a los aspectos relacionados con el desarrollo de las capacidades cognitivas y los conocimientos para la ciencia, ya que ha sido sin duda el ámbito en el que más se

ha trabajado en los últimos años y del que se pueden extraer ideas más fértiles para la elaboración del currículo de Ciencias de la Naturaleza. El fuerte impulso cobrado por el enfoque constructivista en la enseñanza de las ciencias hace muy relevante conocer las capacidades cognitivas de los alumnos adolescentes para aprender ciencias.

El enfoque constructivista en la educación científica: distintas formas de entender la psicología de los alumnos

Es ya un lugar común afirmar que la educación científica debe estar dirigida a fomentar la construcción de conocimientos por parte de los alumnos, en lugar de meramente a repetir o reproducir sistemas de conocimiento ya elaborados. La concepción constructivista del aprendizaje debe entenderse no sólo como una propuesta justificada en la investigación psicológica sobre cómo aprendemos las personas (por ej., Pozo, 1989, 1996), sino también en las demandas culturales que sobre la escuela pesan hoy. En la "sociedad de la información" en la que el acceso a formas diversas y a veces contrapuestas de información y conocimiento es sumamente fácil, la escuela no puede servir ya sólo para transmitir conocimientos (o cultura) que son ya accesibles en otros muchos formatos y canales. La escuela - y más específicamente la educación científica- debe servir cada vez más para asimilar o dar significado a esa gran avalancha de informaciones dispersas y escasamente seleccionadas. Debe servir para construir modelos o interpretaciones que permitan integrar esas informaciones, para hacerlas significativas en el marco del saber científico o disciplinar que las ha hecho posibles. En este sentido, el constructivismo es no sólo una opción psicopedagógica sino sobre todo una opción cultural y de redistribución del conocimiento en el marco de los fines que la educación debe cumplir en las sociedades modernas.

Si tuviéramos que resumir en una sola frase la idea central del llamado enfoque constructivista, recurriríamos todavía al lema que abre la Psicología Educativa de Ausubel, Novak y Hanesian (1978), cuyo espíritu es muy próximo a la posición psicopedagógica mantenida por muchos acercamientos constructivistas a la enseñanza de la ciencia:

"Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enseñese en consecuencia" (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978, pág. 1).

Pero si la mayor parte de los investigadores dedicados al aprendizaje y enseñanza de la ciencia estarían de acuerdo en esta idea, el consenso se rompería fácilmente en cuanto intentáramos precisar un poco más su significado. Tal vez una de las razones por las que esta frase resulta tan aceptada sea precisamente su ambigüedad. Hay diversas formas de "averiguar" y conceptualizar "lo que el alumno ya sabe", de las cuales se derivan implicaciones algo distintas con respecto a la adopción de opciones curriculares determinadas. No se trata ya tanto de defender o justificar la opción del constructivismo cuanto de precisar en qué consiste.

Dado que no queremos pecar de academicismo en esta exposición, evitaremos una contraposición de los diversos modelos teóricos que podrían diferenciarse dentro del constructivismo para la educación científica (pueden encontrarse, por ej., en Pozo et al., 1991; Black y Lucas, 1993). Pero si creemos que comparar varios modelos puede ser útil para comprender las diversas alternativas curriculares que pueden adoptarse en un ámbito en el que aún estamos lejos de disponer de una única opción aceptada por todos (si es que tal cosa es posible o incluso deseable). Aún a riesgo de incurrir en ciertas simplificaciones conceptuales (remitimos a las fuentes anteriores para evitarlas) nos limitaremos a exponer tres formas diferentes de interpretar, dentro de una perspectiva constructivista, "lo que el alumno ya sabe" sobre la ciencia, con implicaciones diferenciadas para el currículo de ciencias.

En primer lugar, presentaremos la teoría piagetiana de las operaciones formales según la cual la capacidad de aprendizaje científico de los alumnos depende de su nivel de desarrollo cognitivo general, de forma que la enseñanza de la ciencia debería estar dirigida a promover el desarrollo de capacidades intelectuales generales. Opondremos esta posición a un segundo enfoque, más reciente, que parte de los conocimientos previos o concepciones alternativas de los alumnos como elemento fundamental a considerar en la enseñanza de la ciencia. Este enfoque, que está teniendo una gran influencia en la investigación psicopedagógica en este dominio, no ha logrado sin embargo proporcionar, por su dispersión teórica, una alternativa curricular que se diferencie de las propuestas tradicionales (basadas en una estructuración disciplinar con criterios conceptuales). Finalmente, un tercer enfoque, que puede concebirse como una síntesis o punto intermedio de los dos anteriores, sería el de las teorías implícitas, que sume que las ideas previas de los alumnos se organizan en teorías implícitas, diferenciadas de las teorías científicas en aspectos esenciales, de forma que la educación científica debería dirigirse a hacer que los alumnos construyeran las teorías científicas a partir de sus teorías personales mediante procesos de cambio conceptual, pero sin que este cambio implicara necesariamente un abandono de sus creencias intuitivas, sino más bien una nueva conceptualización o forma de pensar sobre las mismas. Un rasgo diferenciador de estos modelos va a ser la importancia que conceden al contexto y su fundado escepticismo en la posibilidad de transferir de manera directa el conocimiento científico a las situaciones sociales cotidianas, que suele ser uno de los objetivos básicos de la educación científica en la escolaridad obligatoria.

Aunque estas tres maneras distintas de entender el funcionamiento cognitivo de los alumnos mientras aprenden ciencia coinciden en algunos supuestos básicos (constructivismo, aprendizaje a partir de lo que los alumnos ya saben, diseño de actividades educativas centradas en los alumnos y sus capacidades, etc) difieren en otra serie de supuestos igualmente importantes que conducen a opciones curriculares en parte distintas, por lo que tras exponer la caracterización psicológica de cada uno de estos enfoques, intentaremos derivar algunas implicaciones para la educación científica atendiendo a tres preguntas: para qué enseñar ciencias a los adolescentes, qué ciencia o qué contenidos académicos enseñarles y cómo o mediante qué tipo de actividades de aprendizaje/enseñanza hacerlo. Más allá de las valoraciones y opciones personales que necesariamente adoptaremos al analizar cada uno de estos enfoques o teorías, esperamos que la presentación de los mismos sirva para diferenciar las distintas alternativas curriculares, no siempre suficientemente explícitas o desarrolladas, que se ocultan tras el cada vez más cómodo y vano paraguas del constructivismo.

La teoría piagetiana de las operaciones formales y sus implicaciones para la educación científica

Entre los distintos enfoques desde los que se ha intentado abordar el estudio de los procesos cognitivos de los adolescentes, el que posee una más fructífera tradición es el basado en la psicología genética de Jean Piaget, cuyas formulaciones sobre el desarrollo del pensamiento formal en los adolescentes han tenido bastante influencia no sólo sobre la investigación sino también sobre los esfuerzos curriculares desarrollados en los años setenta y comienzos de los ochenta en diversos países. Si bien su influencia ha decaído bastante en los últimos años, las posiciones piagetianas siguen teniendo en nuestra opinión una gran relevancia para comprender el funcionamiento cognitivo de los adolescentes, así como para el establecimiento y la secuenciación de los contenidos adecuados para esta etapa en los futuros currículos.

La Epistemología Genética piagetiana es un intento de establecer los procesos y estructuras mediante los cuales las personas construyen el conocimiento científico. Para Piaget, la inteligencia de los niños se desarrolla necesariamente a través de varios estadios que implican una complejidad creciente de las formas de pensamiento y de las estructuras cognitivas que las

sustentan (véase por ej., Delval, 1994). El último de esos estadios, o la forma superior de inteligencia, serían para Piaget las llamadas operaciones formales, que se alcanzarían a partir de la adolescencia y que constituirían de hecho un sistema de pensamiento sin el cual no sería posible la comprensión del discurso científico, por lo que es sumamente importante para comprender el tipo de progreso psicológico que tiene que realizar el alumno para acceder al conocimiento científico.

En realidad podemos considerar el pensamiento formal piagetiano como una caracterización psicológica del pensamiento científico. El pensamiento formal piagetiano no sería sino un análisis psicológico de los procesos y estructuras necesarios para enfrentarse a la realidad con la mentalidad de un científico. Razonar formalmente es razonar de un modo científico. ¿Pero qué es razonar formalmente? Expondremos brevemente la respuesta piagetiana a esta pregunta, describiendo las características generales del pensamiento formal, para a continuación plantear algunas de las implicaciones curriculares de este modelo.

Características generales de las operaciones formales

Piaget propone un modelo evolutivo basado en el cambio estructural, de tal forma que a cada estadio le corresponderían estructuras intelectuales y formas de pensar cualitativamente distintas. El pensamiento científico sería la forma de pensar que característicamente aparecería en torno a la adolescencia, sin que ello necesariamente implique que todos los adolescentes y adultos deban de razonar siempre de un modo formal o científico, ya que siguen conservando las formas más elementales de inteligencia, aunque subordinadas a una nueva estructura más compleja, que hace posible una aproximación científica a la realidad.

Dejando a un lado, por su obscuridad y escasa relevancia educativa las estructuras lógicas que subyacen a las operaciones formales (véase por ej., Carretero, 1985; Castorina y Palau, 1981), nos centraremos en sus características funcionales, que vendrían a ser los rasgos que diferencian al acercamiento científico a un problema de otras formas de pensamiento. La mejor manera de presentar estos rasgos es precisamente compararlos con los del estadio precedente, o estadio de las operaciones concretas según Piaget. En otras palabras, intentaremos identificar los rasgos del acercamiento científico a un problema o tarea, por contraposición con otras formas más elementales de pensamiento propias de los preadolescentes.

En primer lugar, las operaciones concretas, como su propio nombre indica, estarían centradas en la realidad inmediata. Aunque el niño capaz de usar las operaciones concretas puede ya ir más allá de las apariencias perceptivas por medio de la conceptualización, su pensamiento sigue ligado a lo concreto, a lo real, más que a lo posible. Diríamos que el pensamiento concreto trabaja con y sobre un dominio de objetos constituido por parámetros del mundo real. En cambio, las operaciones formales trascienden lo real, aquí y ahora, para plantearse, en un mismo nivel de análisis, lo potencial o lo posible. Las operaciones formales, en cuanto descripción psicológica del pensamiento científico, no se referirían tanto a la realidad próxima como a todas las realidades posibles. En el pensamiento formal, lo real pasa a ser un subconjunto de lo posible. La ciencia no se refiere nunca a una realidad concreta, aunque pueda aplicarse a ella, sino que se refiere sobre todo a lo posible y a lo necesario. Trata de establecer ciertas leyes necesarias en lugar de ocuparse sólo de la realidad contingente, como haría una persona que utilizase un pensamiento concreto. Las leyes de la mecánica han de explicar tanto el movimiento de los objetos más próximos, perceptibles aquí y ahora, como el comportamiento de los más lejanos planetas o de las sondas espaciales que se desplazan en el vacío. En cambio, el pensamiento concreto opera sólo sobre la realidad inmediata.

De esta primera diferencia surge una segunda muy importante. Si las operaciones formales no trabajan con objetos del mundo real sino con dimensiones y variables posibles, operarán no

con objetos físicos sino con operaciones - concretas, por supuesto- previamente realizadas con esos objetos. Las operaciones formales serán operaciones de segundo orden u "operaciones sobre operaciones". Ello supone que las operaciones formales se basan en representaciones proposicionales de los objetos más que en los objetos mismos. Este carácter proposicional supone que el pensamiento formal se apoya en un código o formato de representación distinto al del pensamiento concreto, que requerirá algún tipo de lenguaje o sistema de representaciones analíticas, frente al carácter más analógico del pensamiento concreto. El álgebra o el lenguaje químico son claros ejemplos de ese carácter proposicional del pensamiento científico.

Las dos características anteriores hacen posible el rasgo funcional más importante del pensamiento formal: su naturaleza hipotético-deductiva. Al superar la realidad inmediata, las operaciones formales permiten no sólo buscar explicaciones de los hechos que vayan más allá de la realidad aparente sino además someterlas a comprobaciones sistemáticas. Estos dos procesos, la formulación y la comprobación de hipótesis, están estrechamente vinculados y diferencian al pensamiento formal de otros tipos de pensamiento más elementales, en los que la persona puede buscar ciertas explicaciones para los hechos, pero éstas no pasan de conjeturas o suposiciones ya que no son sometidas a comprobación. En la ciencia esta comprobación se realiza bien por experimentación basada en el control de variables, bien por evaluación de casos o situaciones percibidas y supone un rasgo esencial que diferencia al pensamiento científico de otras formas abstractas de pensamiento (religioso, filosófico, etc.).

Como puede verse, estas tres características son lo bastante generales como para abarcar todas las modalidades del pensamiento científico. Es difícil, si no imposible, pensar en alguna forma de actividad científica, sea en el área de lo natural o de lo social, que no trascienda lo real por medio de un lenguaje que implique un dominio de representación propio y que no se base en procedimientos de formulación y comprobación de hipótesis. La comprensión de la ciencia -y con ella de los contenidos científicos escolares- requiere continuamente del adolescente el uso de un pensamiento formal, que tal vez no se halle plenamente desarrollado o dominado por los alumnos. Sin embargo, este mismo carácter general hace difícil el uso del pensamiento formal como criterio de análisis de tareas científicas específicas. De hecho, las características generales del pensamiento formal, tanto las funcionales como en mayor medida las estructurales, aunque sean muy comprensivas como modelo psicológico del conocimiento científico, no son de mucha ayuda para la secuenciación u organización de contenidos en situaciones didácticas concretas. A pesar de algunos intentos de secuenciar la comprensión de conceptos científicos específicos a partir de la distinción entre operaciones concretas y formales (por ej., Shayer y Adey, 1981), la distancia entre unos y otros parece seguir siendo demasiado grande. Esto ha limitado la aplicabilidad del modelo piagetiano a la didáctica. Sin embargo, los propios Inhelder y Piaget (1955), dentro de su teoría de las operaciones formales, incluían un concepto que puede servir de puente entre esas características generales y el dominio de nociones científicas específicas. Se trata de los llamados esquemas operatorios formales.

Los esquemas operatorios formales

Inhelder y Piaget (1955) proponen la existencia de ocho esquemas operatorios formales que se adquirirían de modo solidario u homogéneo a partir del dominio del pensamiento formal. Se trata por tanto de formas de pensar o conceptualizar accesibles a partir del pensamiento formal que sólo se actualizan ante tareas concretas, ya sea espontáneamente o a través de la instrucción. Pero ¿cuántos y cuáles son los esquemas formales? Inhelder y Piaget identifican ocho esquemas diferentes, aunque emparentados, que tal vez no agoten todos los posibles. Esos ocho esquemas serían los siguientes:

1. Las operaciones combinatorias, que hacen posible, dada una serie de variables o proposiciones, agotar todas las combinaciones posibles entre ellas para lograr un determinado efecto. Operaciones de este tipo serían las combinaciones, las variaciones y las permutaciones pero también sería necesario el uso de este esquema en tareas científicas que implicaran la búsqueda de una determinada combinación, como el control de variables.
2. Las proporciones, cuyo uso permite cuantificar las relaciones entre dos series de datos, estarían conectadas con numerosos conceptos no sólo matemáticos sino también científicos.
3. La coordinación de dos sistemas de referencia sería un esquema necesario para comprender todas aquellas tareas o situaciones en las que exista más de un sistema variable que pueda determinar el efecto observado.
4. La noción de equilibrio mecánico, que implica la comprensión del principio de igualdad entre acción y reacción dentro de un sistema dado, requiere la compensación operatoria - es decir mental, no real - entre el estado actual del sistema y su estado virtual o posible si se realizan ciertas acciones en él.
5. La noción de probabilidad, vinculada a la comprensión del azar y por tanto de la causalidad tiene relación tanto con las nociones de proporción como con los esquemas combinatorios y sería útil tanto para la solución de problemas matemáticos como para la comprensión de fenómenos científicos no determinísticos.
6. La noción de correlación estaría vinculada tanto a la proporción como a la probabilidad y sería necesaria para determinar la existencia de una relación causal "ante una distribución parcialmente fortuita". Sería necesaria para el análisis de datos y la experimentación científica en tareas complejas o ante fenómenos probabilísticos.
7. Las compensaciones multiplicativas requerirían el cálculo de la proporción inversa de dos variables para la obtención de un determinado efecto. Este esquema supone el uso de la proporción y permite acceder a conceptos tales como la conservación del volumen o la comprensión del principio de Arquímedes, además de otras muchas leyes científicas que implican una relación proporcional inversa entre dos variables.
8. Las formas de conservación que van más allá de la experiencia, conectadas con la noción de equilibrio mecánico, supondrían el establecimiento de leyes de la conservación sobre no observables. Frente a las conservaciones propias del pensamiento concreto que tienen un apoyo perceptivo estas conservaciones no observables no tienen ningún apoyo perceptivo. La conservación de la energía o del movimiento rectilíneo y uniforme serían conceptos cuya comprensión requeriría la aplicación de este esquema.

Inhelder y Piaget (1955) suponían, de acuerdo con su modelo estructural, que la capacidad o competencia para operar con estos ocho esquemas se adquiriría de un modo solidario o simultáneo, si bien la actualización de esa competencia o actuación con cada uno de los esquemas podría depender también de ciertas condiciones de experiencia personal o educativa en las que fueran útiles para la construcción de nociones específicas. En este sentido, los esquemas, en cuanto operaciones formales, serían solidarios no sólo de sus características generales, descritas en el apartado anterior, sino también de una serie de supuestos sobre su naturaleza y funcionamiento que poseen serias implicaciones para el diseño curricular en la adolescencia.

Implicaciones de este modelo para la elaboración de un currículo de ciencias en la adolescencia

Dado que no podemos extendernos en detalle en todos los supuestos de este modelo en cuanto teoría psicológica, remitimos a otras fuentes donde se exponen estos supuestos (por ej., Carretero, 1985; Delval, 1994; Pozo et al., 1991), y nos centramos en algunas de las implicaciones curriculares de este modelo.

Ante todo, el estadio de las operaciones formales es un período cognitivamente diferenciado de los períodos anteriores. En otras palabras, el adolescente comienza a pensar y de concebir la realidad de un modo distinto al de los niños. Este salto cualitativo justifica la existencia de una etapa educativa claramente diferenciada de la anterior, tanto en sus objetivos, como en sus contenidos y métodos. En el caso del conocimiento científico, muchos conceptos y formas de pensamiento inaccesibles a las operaciones concretas pueden ya ser utilizadas y ejercitadas por los adolescentes.

Pero ese pensamiento formal posee, según Piaget, una "estructura de conjunto". No se trata de destrezas adquiridas separadamente sino de un sistema de operaciones integradas las unas en las otras. Por tanto, parece razonable también fomentar esas habilidades de forma global o integrada. Si los esquemas operatorios formales se adquieren solidariamente y son en gran medida independientes del contenido al que se aplican, la organización curricular más razonable sería fomentarlos también de uno modo global o conjunto. En la epistemología genética piagetiana, las estructuras o las formas predominan sobre los contenidos, que se derivarían a partir de aquellas. Un enfoque de ciencia integrada durante la adolescencia parece más coherente con la posición piagetiana, ya que permite que la enseñanza de la ciencia se organice en torno a esas estructuras más generales de conocimiento, en lugar de centrarse en contenidos específicos que, según la propia teoría, resultan secundarios.

La predominancia de los aspectos formales sobre los contenidos específicos en el pensamiento formal piagetiano (al fin y al cabo es eso: pensamiento "formal") ha supuesto también un énfasis mayor en los procesos generales de pensamiento que en los conocimientos disciplinares. Dentro de la falsa -pero muy habitual - contraposición entre métodos y conceptos, el pensamiento formal sería ante todo un método o forma nueva de pensar que permite acceder a nuevos contenidos o conceptos. Por consiguiente, los desarrollos curriculares basados en la obra de Piaget han centrado la enseñanza de la ciencia en el fomento de habilidades y estrategias de pensamiento (formulación y comprobación de hipótesis, control de variables y experimentación, razonamiento combinatorio, solución de problemas, etc.) más que en la transmisión de los sistemas conceptuales de las disciplinas académicas. Aunque los esquemas operatorios formales pueden servir para analizar la complejidad operatoria de los contenidos conceptuales exigidos, el pensamiento formal tiene una conexión más directa con las formas o procedimientos generales de razonamiento que con los conceptos específicos.

Este último supuesto ha llevado también a que la enseñanza basada en la obra piagetiana se apoye esencialmente en metodologías didácticas basadas en el descubrimiento o la investigación, más que en la exposición o transmisión de conocimientos. Obviamente, la mejor forma de adquirir procedimientos y estrategias es ejercitarlos en la solución de problemas. Si queremos que el alumno aprenda a pensar de una forma análoga a la de un científico, sea social o natural, lo mejor es enfrentarle a situaciones en las que deba poner en funcionamiento habilidades similares a las de un científico (observar, medir, formular hipótesis, experimentar sobre ellas, etc.).

Este supuesto, común a numerosos desarrollos piagetianos y pospiagetianos en muchas y diversas áreas, ha dado lugar a confusiones didácticas que no han sido del todo superadas y que se derivan en buena medida de que se trata de un supuesto empíricamente falso. No parece que el pensamiento formal, a la luz de los datos actuales, que no podemos ni siquiera resumir aquí (Carretero, 1985; Pozo et al., 1991), sea tan general e independiente del contenido conceptual como la teoría piagetiana supone.

Un primer dato que suele mencionarse como crítico para la posición piagetiana es el escaso porcentaje de adolescentes escolarizados e incluso adultos que utilizan formas de pensamiento formal (caracterizadas por los rasgos y esquemas antes descritos) cuando se les presentan tareas que así lo requieren. Los porcentajes no suelen superar el 50%. Pero si bien este dato es crítico para las operaciones formales en cuanto teoría psicológica, creemos que no disminuye su relevancia educativa, sino más bien al contrario: acrecentaría la necesidad de impulsar planteamientos curriculares en Ciencias de la Naturaleza que fomenten el uso del pensamiento formal en lugar de la mera acumulación de conocimientos científicos vacíos de significado para los alumnos.

Más problemáticos para la forma en que deben organizarse los currículos de ciencias son otros datos que se conocen sobre la propia naturaleza del pensamiento formal (o si se prefiere del pensamiento científico). Lejos de ser una capacidad única -o inteligencia unitaria- como la teoría piagetiana suponía, las operaciones formales parecen ser un conjunto de habilidades diferenciadas, aunque conectadas entre sí. Además, su utilización, lejos de atender sólo a los rasgos formales o a la estructura lógica de las tareas y actividades, depende en un grado esencial del contenido conceptual de esas mismas tareas y de los conocimientos conceptuales que los alumnos tengan en ese dominio. En otras palabras, no parece que la adquisición de las operaciones formales -o el acceso a las estructuras lógicas que subyacen a ellas- asegure la comprensión de la ciencia. Las operaciones formales serían una condición necesaria pero no suficiente para aprender ciencia (Pozo y Carretero, 1987). ¿Qué se requiere además Conocimientos conceptuales específicos de dominio, cuya adquisición no queda asegurada por el uso de formas de pensamiento científico. Los alumnos tendrían que adquirir los sistemas conceptuales o teorías propios de cada disciplina científica, además de ciertos procesos generales sobre cómo hacer ciencia.

Este es un dato bastante conocido en la investigación reciente sobre la enseñanza de la ciencia, debido a las numerosas investigaciones que se han hecho sobre las ideas previas o concepciones alternativas de los alumnos ante muy diversos fenómenos científicos. Estos estudios constituyen de hecho un enfoque alternativo que ha venido en buena medida a complementar al piagetiano en la investigación sobre enseñanza de la ciencia. Si el pensamiento formal está más relacionado con la adquisición de procedimientos, el estudio de las ideas previas de los alumnos es muy útil para entender cómo aprenden los conceptos científicos.

El enfoque de los conocimientos previos o concepciones alternativas

Si la década de los setenta fue para la enseñanza de la ciencia la "edad de Piaget", los años más recientes pueden calificarse muy bien como la "época de los conocimientos previos" o concepciones alternativas en la educación científica. La insatisfacción con el concepto piagetiano de estadio de las operaciones formales, unida a otros varios factores psicológicos y didácticos, hizo que los estudios se hayan orientado cada vez más hacia el papel de los conocimientos previos de los alumnos en el aprendizaje de la ciencia. Pero, a diferencia de lo que sucede con la teoría piagetiana de las operaciones formales, que se presenta como un modelo unitario, coherente e integrado, el enfoque de las concepciones alternativas abarca posiciones y trabajos muy diferentes, cuyo punto de encuentro es la importancia concedida las ideas o conocimientos previos que los alumnos llevan al aula.

Algunas características de las concepciones alternativas de los alumnos

Podríamos decir que, en coherencia con el modelo de alumno que proponen, la teoría piagetiana es una, grande y homogénea, mientras que las concepciones alternativas son muchas, pequeñas (o específicas) y heterogéneas. A pesar de esta diversidad, las concepciones alternativas

han sido caracterizadas (por ej., Black y Lucas, 1993; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Osborne y Freyberg, 1985; Pozo y Carretero, 1987; Pozo et al., 1991) como construcciones personales, relativamente incoherentes, resistentes al cambio, de carácter implícito, compartidas en diferentes culturas y contextos y con un cierto paralelismo con concepciones abandonadas en la Historia de las disciplinas.

Como suponemos conocidas estas características, no nos detendremos más en ellas. Sin embargo, parece claro que no todas las concepciones que los alumnos llevan al aula comparten en la misma medida todas las características mencionadas. Así, algunas son muy resistentes al cambio, pero otras no tanto; algunas encuentran paralelismos históricos, pero otras no; algunas son implícitas, pero otras se pueden verbalizar fácilmente, etc. En suma, tras la máscara de las "concepciones alternativas" se ocultan muy diversos problemas de aprendizaje, que requerirían opciones curriculares diversas. Por nuestra parte, creemos que sería útil diferenciar entre diversas tipologías de concepciones o ideas previas en función de su origen o la forma en que se han adquirido, ya que ello afecta también a la forma en que deben ser modificadas (Pozo et al., 1991). Podríamos distinguir entre tres tipos de concepciones levemente diferenciadas, aunque en continua interacción:

a) Origen sensorial: Concepciones espontáneas. Se formarían en el intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basarían esencialmente en el uso de reglas de referencia causal aplicadas a datos recogidos - en el caso del mundo natural - mediante procesos sensoriales y perceptivos. Estas reglas consistirían en los mecanismos de búsqueda causal utilizados en el conocimiento cotidiano, consistentes básicamente en principios asociativos (contigüidad espacial y temporal entre causa y efecto, semejanza, covariación, etc). Constituirían una "metodología de la superficialidad", según la expresión de D. Gil, opuesta a la metodología científica. La idea intuitiva de fuerza o la atribución de propiedades macroscópicas a las partículas serían concepciones con un claro origen sensorial. En general, este tipo de concepciones suelen ser las más universales o compartidas por alumnos en países y contextos culturales muy diferentes.

b) Origen cultural: Concepciones sociales. El origen de estas concepciones no estaría tanto dentro del alumno como en su entorno social, de cuyas ideas se impregnaría el alumno. La cultura es entre otras muchas cosas un conjunto de creencias compartidas por unos grupos sociales, de modo que la educación y la socialización tendrían entre sus metas prioritarias la asimilación de esas creencias por parte de los individuos. Dado que el sistema educativo no es hoy el único vehículo -y a veces ni siquiera el más importante- de transmisión cultural, los alumnos accederían a las aulas con creencias socialmente inducidas sobre numerosos hechos y fenómenos. Así, numerosas creencias sobre la salud y la enfermedad, sobre el funcionamiento del cuerpo humano o, recientemente, sobre el medio ambiente tienen su origen en creencias populares o en la divulgación científica. Este tipo de concepciones, dado su fuerte componente cultural, suelen diferir de un contexto cultural a otro.

c) Origen educativo :Concepciones escolares. al hablar de conocimientos previos, se olvida con frecuencia que su origen no está sólo fuera de la escuela, sino también en ella. En este sentido se viene destacando como algunas concepciones alternativas (aquí siempre nombradas como "ideas erróneas) tienen su origen en los propios materiales y actividades didácticas (errores en los libros, falta de formación del profesorado cuando se enfrenta a problemas nuevos en el marco de una enseñanza constructiva, etc.) Pero además, toda enseñanza científica supone la presentación o construcción de modelos, que actúan como analogías y que pueden ser transferidas a nuevas situaciones o contextos. A medida que el conocimiento científico se hace más abstracto (y esto ocurre desgraciadamente muy pronto) es preciso presentar al alumno modelos o analogías (del átomo, de la célula, o del

ciclo del agua). Estas concepciones serían muchas veces "residuos" no intencionados del currículo de ciencias.

Esta distinción no implica que desde un punto de vista cognitivo las diferentes concepciones funcionen por separado. En todo caso, hay motivos para creer que las ideas previas pueden ser de diferente naturaleza en unos dominios y otros. El conocimiento sobre la materia y sus propiedades es en muchos casos espontáneo y tiene su origen en la percepción inmediata del entorno y en un razonamiento intuitivo que intenta dar sentido al comportamiento de los objetos. Sin embargo, en algunas áreas del mundo físico y, sobre todo, químico, por ser inaccesibles a la percepción directa, las ideas de los alumnos se basan en gran medida en modelos o analogías recibidos a través de la enseñanza pero no siempre bien asimilados. No obstante, la fuerte influencia de los medios de comunicación hace que en algunas áreas del conocimiento científico las ideas de los alumnos estén constituidas por "representaciones sociales" que, en lugar de ser una construcción más o menos espontánea del alumno, se transmiten a través de esos canales de socialización (por ej., las ideas sobre el S.I.D.A., el equilibrio ecológico o los peligros de la energía nuclear).

Creemos que esta distinta tipología puede ayudar a diferenciar el tratamiento curricular de diversas concepciones, ya que cabe suponer que las concepciones espontáneas se hallarán mucho más arraigadas en la práctica cotidiana, por lo que serán mucho más difíciles de cambiar. Por el contrario, el cambio de las concepciones sociales puede provocar resistencias y conflictos en el entorno o las prácticas sociales del alumno. Finalmente, las concepciones escolares deben ser objeto de una secuenciación adecuada de contenidos, de forma que las analogías o modelos anteriormente presentados sean recuperados y reconceptualizados en momentos posteriores del currículo. Pero en todo caso, más allá de estos diferentes tipos de conocimientos previos, este enfoque tiende a basarse en la idea de que la educación científica debe estar dirigida a sustituir esas ideas previas (frecuentemente tachadas de "erróneas") en favor de las ideas o teorías científicas. Para ello se han defendido técnicas didácticas específicas (activación y evaluación de conocimientos previos, actividades para promover conflictos cognitivos a los alumnos, etc.). Pero más allá de esas técnicas novedosas, de los supuestos psicológicos del enfoque de las concepciones alternativas se deriva un modelo de currículo para las ciencias no muy diferenciado de los currículos tradicionales y, en consecuencia, claramente distinto del que promovía la investigación piagetiana.

Implicaciones del enfoque de las concepciones alternativas para el currículo

Al igual que hicimos anteriormente con respecto a la teoría piagetiana de las operaciones formales, extraeremos a continuación algunos de los supuestos esenciales del enfoque de las concepciones alternativas con respecto a la comprensión de la ciencia por los adolescentes. Tomaremos para ello cuatro supuestos básicos de la posición piagetiana, observando cómo, a pesar de compartir una concepción constructivista, el nuevo enfoque supone un cambio radical en dichos supuestos.

Dejando a un lado otros aspectos, para este enfoque el pensamiento científico no sería un sistema de conjunto o una estructura homogénea, sino que más bien cabría hablar de conocimientos y habilidades específicas, adquiridas por separado o al menos no de un modo solidario como Inhelder y Piaget (1955) sostenían. Se abandona así la creencia en una inteligencia o capacidad general y se sustituye por un modelo de conocimientos o habilidades específicas. Si Piaget suponía que el rendimiento de un alumno ante diversas tareas podía predecirse a partir del tipo de operaciones que era capaz de construir (su estadio de desarrollo), los estudios sobre ideas previas no permiten hacer predicciones de una tarea a otra (¿qué relación hay entre la idea

intuitiva de fuerza y la confusión entre calor y temperatura?). Si la teoría de Piaget concebía el conocimiento científico como una estructura general, aquí nos encontramos con ideas o conocimientos específicos. La estructura se ha reducido a una suma de trozos. ello tendrá consecuencias para la organización del currículo.

En conexión con lo anterior, el enfoque de las concepciones alternativas centra sus investigaciones en la comprensión de conceptos científicos, centrando su atención ante todo en la adquisición del conocimiento conceptual, en detrimento de los aspectos procedimentales y actitudinales (Gil, 1994). Los procedimientos necesarios para investigar ciencia no serían unívocos ni constituirían un sistema único y general de solucionar problemas.

Estos cambios en el modelo psicológico del alumno implican a su vez consecuencias definidas para la organización y estructuración del currículo. Si de la arquitectura cognitiva cerrada y homogénea de Piaget daba pie a un determinado tipo de currículo que, aunque no masivamente, tuvo su aplicación en los años setenta, el enfoque de las concepciones alternativas puede tener consecuencias importantes en la forma de organizar los futuros currículos de Ciencias de la Naturaleza en muchos países. Un análisis de algunas de esas consecuencias nos permitirá reflexionar luego críticamente sobre las mismas.

Ante todo, con respecto a la estructura y secuenciación de los contenidos en el currículo, el constructivismo derivado del enfoque de las concepciones alternativas impone criterios bastante distintos de los que se deducían de la posición piagetiana. Si a partir de la obra de Piaget, el currículo se intentaba estructurar siguiendo las líneas y etapas del desarrollo cognitivo, estos criterios se desvanecen en el nuevo enfoque. Aunque se establece como principio básico que la enseñanza debe partir de las ideas y concepciones previas del alumno (de ahí el adjetivo "constructivista"), no se postula en principio la existencia de secuencias necesarias y fijas en la construcción de los conocimientos, como eran los estadios piagetianos. La psicología del alumno parece ser el punto de partida pero no el de llegada; éste -como criterio estructurador de los contenidos del currículo- viene dado más bien por los propios conceptos elaborados por las disciplinas académicas. En terminología ausubeliana, se trata de acercar la "estructura psicológica" que posee el alumno a la "estructura lógica" de la disciplina (Ausubel, 1973). La estructura del currículo vendrá determinada esencialmente por la estructura conceptual de las disciplinas, si bien ello no implica que el currículo deba reflejar fielmente la estructura académica de las disciplinas, ya que debe adecuarse siempre a la psicología de los alumnos.

Esto conduce preferentemente a enfoques disciplinares más que integradores. Dado que cada ciencia posee una estructura conceptual propia y no siempre coincidente la de otras materias, la forma más razonable de organizar la enseñanza científica será estructurarla a partir de las disciplinas que la componen. De hecho, el enfoque de las concepciones alternativas ha traído consigo un notable interés por la Epistemología y la Historia de las disciplinas específicas, que potencialmente son una fuente muy rica de criterios para la organización de los contenidos.

La debilidad y escasa consistencia de los criterios psicológicos utilizados desde el enfoque de las concepciones alternativas lleva por tanto a que los criterios de estructuración curricular vuelvan en gran medida, aunque no exclusivamente, a las disciplinas específicas, sin que ello tenga que suponer una renuncia a los presupuestos constructivistas del enfoque. Además, están centrados más en los conceptos de la disciplina que en sus procedimientos. Este enfoque, sin olvidar por ello la necesidad de fomentar el uso de procedimientos específicos, hace suya la afirmación de Ausubel, Novak y Hanesian (1978, pág. 466 de la trad. cast.) según la cual "cualquier currículo de ciencias digno de tal nombre debe ocuparse de la presentación sistemática de un cuerpo de conocimientos como fin explícito en si mismo". Aunque posiblemente no todos los autores representativos de este enfoque suscribirían la conveniencia didáctica de presentar ese

cuerpo de conocimientos, sí habría un acuerdo mayoritario en que deben constituir el núcleo del currículo. Se desplaza así el interés habido en los años setenta por los procesos como eje del currículo de ciencias aunque no se abandone la necesidad de instruir en su uso.

Además, este cambio en la prioridad entre procesos y conceptos, que es obvio implemente con analizar el contenido de los trabajos publicados desde este enfoque, supone también cambios importantes desde el punto de vista didáctico. Si la enseñanza por descubrimiento es eficaz para el aprendizaje de procedimientos y estrategias de solución de problemas, no lo es tanto cuando se intenta aplicar a la adquisición de conceptos. La metodología propugnada suele basarse en generar conflictos cognitivos entre las ideas de los alumnos y los datos, que serían resueltos normalmente a través de la presentación de modelos científicos alternativos. No es casual la denominación frecuente de "ideas erróneas" para referirse a las concepciones alternativas de los alumnos. Con ello se destaca la necesidad de que el alumno asuma la "lógica" y los "criterios de verdad" de las teorías científicas, que siguen siendo el eje fundamental para articular las propuestas curriculares. Una mínima lectura de los trabajos realizados desde este enfoque viene a mostrar que están centrados en los núcleos conceptuales básicos de las disciplinas científicas que estudian. En este sentido cabe preguntarse si este enfoque de las concepciones alternativas trae consigo realmente una alternativa o una nueva forma de concebir y organizar el currículo de ciencias.

El enfoque de las concepciones alternativas: ¿una alternativa curricular?

A pesar de su aceptación generalizada entre los investigadores e incluso, de modo creciente, entre los profesores, es dudoso que este enfoque, tal como lo hemos presentado, suponga una renovación profunda del currículo de ciencias. A diferencia de las propuestas piagetianas, las metas educativas no difieren de las propuestas más tradicionales. Ya no se trata de desarrollar o fomentar capacidades en los alumnos -u operaciones formales- sino de conseguir que comprendan -de forma correcta, no errónea- conceptos como fuerza, calor, selección natural o conservación de la masa. Así, aunque las propuestas de este enfoque, por su propia naturaleza dispersa, son menos precisas que el enfoque piagetiano, cabe preguntarse si este tipo de "constructivismo" supone alguna alternativa a los currículos tradicionales -más allá de ciertos cambios en los recursos didácticos- basados en una cascada de conceptos difícilmente inteligibles y escasamente relacionados entre sí. Siguiendo la brillante metáfora de Claxton, ese tipo de currículo es para el alumno como viajar en un tren con las cortinas bajadas, sin ver nada del paisaje, ni conocer la meta de su viaje, hasta que de pronto el tren se detiene en una estación (pongamos, por ej., "la energía"), donde se suben las cortinas y se le explica el lugar en que se encuentra, para inmediatamente volver a reanudar la marcha en busca de la próxima estación, en un viaje sin retorno y sin meta ni fin (para el alumno).

La propia idea de que las concepciones alternativas del alumno deben ser consideradas para ser activadas (a través de ciertas tareas), sometidas a conflicto y posteriormente reemplazadas por las teorías científicas se ha mostrado no solamente imposible de lograr tanto con alumnos adolescentes (de 12-14 años) como de edades superiores, sino también poco justificada teóricamente (Caravita y Halldén, 1994; Duit, 1994). Asumir que esas concepciones son erróneas y por tanto deben de ser abandonadas es reducir los fines de la educación a la lógica de las disciplinas específicas. En muchos casos esos conocimientos previos, por su arraigo sensorial o por su raíz cultural, constituyen formas de saber muy funcionales en los contextos de la vida diaria de los alumnos, por lo que no pueden ni deben ser abandonados fácilmente.

Hay un propósito implícito o explícito en la mayor parte de los currículos de Ciencia consistente en hacer que el alumno vea el mundo con ojos de científico y sólo con ojos de científico, estableciendo como objetivo la transferencia sistemática de los conocimientos científicos escolares a su vida cotidiana, asumiendo la racionalidad científica -como forma

superior de conocimiento- como criterio para la toma de decisiones y el análisis de los problemas cotidianos, tanto personales (por ej., hábitos de consumo) como sociales (por ej., decisiones medioambientales). Esta, como señala Claxton (1991), es una idea que guía buena parte de los currículos de "ciencia para todos" en la educación obligatoria. Sin embargo, como el propio Claxton resalta, tal propósito no sólo es imposible de cumplir a esas edades sino también innecesario.

En este sentido, los resultados de la investigación basada en el enfoque de las concepciones alternativas, y en el uso de estrategias de conflicto cognitivo en el aula, parecen mostrar que estos planteamientos constructivistas no aseguran una comprensión o cambio conceptual de los núcleos básicos de la ciencia a los 12-14 años, pero tampoco a los 15-16 años. Desde nuestro punto de vista este escaso éxito, además de no ser sorprendente dada la complejidad cognitiva del discurso científico -que hemos intentado destacar en la exposición anterior sobre la teoría piagetiana del pensamiento formal-, tampoco debe ser la meta de la educación científica en los primeros años de la adolescencia. Afortunadamente, existen nuevas perspectivas teóricas desde la psicología cognitiva de la instrucción, que, situándose en muchos aspectos a medio camino de los dos enfoques que hemos analizado, abren nuevas perspectivas a la enseñanza de las ciencias en la Educación obligatoria.

El enfoque de las teorías implícitas: la adquisición de estructuras conceptuales de dominio

Como hemos visto, la teoría piagetiana y el enfoque de las concepciones alternativas parten de supuestos psicológicos bien diferenciados y reclaman propuestas curriculares en más de un sentido opuestas. Mientras que desde los supuestos piagetianos, la educación científica debería estar dirigida a promover nuevas formas de pensamiento, subordinando la organización de los contenidos conceptuales a este fin, el enfoque de las concepciones alternativas reduce el aprendizaje de la ciencia a la adquisición de los núcleos conceptuales de la ciencia tras superar el "obstáculo cognitivo" que suponen las ideas previas de los alumnos. Mientras que el modelo piagetiano supone que ese pensamiento científico constituye un sistema unitario (operaciones lógico- formales) compuesto por varios esquemas (por ej., conservaciones no observables) que a su vez hacen posible la construcción de conceptos o nociones concretas (por ej., densidad), de forma que la adquisición de estos últimos sólo sería posible si se logran esos cambios estructurales más generales, a los que debería dirigirse la educación científica, el enfoque de las concepciones alternativas dirige sus esfuerzos a los conceptos más específicos, promoviendo por separado el cambio en cada uno de ellos, sin que existan propuestas que integren esos diversos cambios puntuales. Podríamos decir que desde Piaget, enseñar ciencias es algo así como la "madre de todas las batallas", mientras que el enfoque de las concepciones alternativas adopta más bien una estrategia de "guerra de guerrillas", concepto a concepto.

Sin embargo, los datos existentes sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos no parecen dar la razón a ninguna de estas dos posiciones, ya que reclaman niveles de generalidad u homogeneidad intermedios entre los previstos por Piaget y las concepciones alternativas. Según este análisis, el pensamiento científico no constituiría un sistema tan homogéneo como la teoría piagetiana predecía pero tampoco tan heterogéneo como el otro enfoque asume. Una forma de explicar las regularidades en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos es recurrir a estructuras conceptuales de un nivel de generalidad intermedio entre las estructuras lógicas piagetianas y las dispersas concepciones alternativas. Tal es el caso de las "estructuras conceptuales específicas" a las que hace referencia Case (1991) o las cada vez más frecuentes interpretaciones del conocimiento personal o alternativo de los alumnos en términos de teorías implícitas o personales (por ej, Chi, Slotta y deLeeuw, 1994; Claxton, 1991; Pozo, 1996; Pozo, Pérez Echeverría, Sanz y Limón, 1992; Vosniadou, 1994).

Desde nuestro punto de vista, desarrollado extensamente en otras ocasiones (por ej., Pozo *et al.*, 1991, 1992), las ideas de los alumnos sobre la ciencia pueden concebirse como teorías implícitas, que poseerían rasgos diferenciados con respecto a las teorías científicas, y que se utilizarían, en conjunción con ese conocimiento más académico, en función de las demandas contextuales de la tarea. El enfoque de las "teorías implícitas", se ha basado en recientes conceptualizaciones de la psicología cognitiva sobre la forma de representar el conocimiento y el mundo que nos rodea. Distintos trabajos parecen mostrar que los estudiantes poseen una serie de teorías constituidas por distintos conceptos y nexos que establecen relaciones entre ellos. Como las teorías científicas, estas teorías "personales" tienen como objetivo la interpretación y predicción del mundo circundante. No obstante, las teorías científicas y las teorías personales sobre la ciencia difieren entre sí en muchos otros rasgos, cuyo repaso puede servirnos para comprender mejor la naturaleza de los conocimientos previos de los alumnos en cuanto teorías implícitas, pero también para comprender el tipo de cambio representacional que debe lograr la educación científica si quiere acercar a los adolescentes al conocimiento científico.

Algunas características de los conocimientos previos de los alumnos como teorías implícitas

Al comparar las ideas de los alumnos con las teorías científicas que se les tratan de enseñar, nos interesa contrastar sus diferencias para que se comprenda cómo ambos tipos de teorías tienen una naturaleza y unas funciones distintas. Ello no implica obviamente que la contraposición que vamos a presentar sea siempre tan extrema, ya que muchas veces los rasgos de ambos tipos de conocimiento se hallan más difuminados. En especial, no queremos entrar en excesivas disquisiciones sobre la naturaleza del conocimiento científico, ya que no es ese el objetivo de este documento, sino únicamente utilizarlo como espejo -un tanto simplificado o deformado- en el que reflejar las características de las teorías implícitas y el cambio que, a partir de ellas, debe lograr la educación científica.

Obviamente el principal rasgo que define a las teorías personales de los alumnos es su carácter implícito. Mientras que las teorías científicas deben por necesidad explicitarse en un lenguaje o sistema de representación compartido por una comunidad, lo que les obliga a intentar ser tanto coherentes como consistentes, buena parte de las teorías implícitas son incommunicables. Las teorías implícitas suelen subyacer a la acción, manifestándose sólo a través de ella y resultando en muchos casos muy difíciles de verbalizar.

Además, este carácter implícito de las teorías de los alumnos conecta con la necesidad de fomentar la toma de conciencia con respecto a sus propias ideas como uno de los requisitos del llamado "cambio conceptual". Sólo mediante la toma de conciencia de las propias teorías o modelos implícitos que solemos usar para interpretar la realidad podremos llegar a superar éstos, y esa toma de conciencia es uno de los productos de la instrucción y por tanto de la vida social. Ante situaciones nuevas, las personas, de modo no deliberado y por tanto no consciente, solemos utilizar esquemas, modelos o teorías que nos han sido útiles con anterioridad. En la activación de esas teorías actúan una serie de procesos psicológicos que el sujeto por supuesto desconoce.

Con todo lo anteriormente dicho podría parecer que las teorías implícitas son gravemente erróneas y por tanto inútiles o ineficaces. Sin embargo, no es así. En tanto se mantienen, las teorías implícitas suelen generar predicciones con bastante éxito en la vida cotidiana. Los alumnos levantan objetos, lanzan balones a canasta, andan en bicicleta o caminan a diario con un cierto nivel de éxito sin conocer las leyes físicas que gobiernan cada uno de sus movimientos. Aunque las teorías implícitas de los alumnos sobre el movimiento de los objetos y la gravedad sean científicamente incorrectas, suelen describir o predecir muy bien acontecimientos cotidianos ante

los que muchas veces los modelos científicos formalizados (es decir, idealizados) son menos predictivos (al menos al nivel de complejidad que pueden conocerlos los adolescentes).

De hecho, las teorías personales y las teorías científicas buscan metas distintas. Como señala Claxton (1984) las teorías personales deben ser útiles; las teorías científicas deben ser ciertas. Esta diferencia de criterios (utilidad versus verdad) esta una vez más conectada con el carácter implícito o explícito de las ideas de los alumnos. Las teorías personales del alumno que está aprendiendo ciencias tienen un aquí y ahora, se refieren a hechos concretos (son locales); las leyes científicas que se les pretenden enseñar son no sólo posibles -en vez de reales- sino además necesarias (tienen una pretensión de generalidad o universalidad).

Retomando una diferencia esencial entre el pensamiento concreto y el forma, según Piaget, las teorías implícitas se refieren al mundo real del alumno, mientras que la ciencia no se refiere al mundo real, sino que está constituida por modelos idealizados que responden a mundos posibles. La ciencia es un discurso sobre modelos teóricos (auto-referente) mientras que las teorías implícitas tienen como referencia el mundo real, el aquí y ahora, por lo que aunque las teorías científicas sean más potentes teóricamente y más coherentes conceptualmente, no siempre son más eficaces que las teorías implícitas en el mundo personal del alumno. De hecho su función es distinta. Utilizando nuevamente una distinción piagetiana central a su teoría funcional de la equilibración, las teorías implícitas buscan el éxito mientras que las teorías científicas intentan comprender. Las teorías personales tienen una función descriptiva y predictiva; las teorías científicas, predictiva y explicativa.

A diferencia de lo que sucede con las teorías personales o implícitas, el científico no reflexiona tanto sobre los objetos como sobre sus teorías sobre los objetos. El científico no busca tanto -o al menos sólo- predecir la "conducta" de los objetos cuanto establecer modelos conceptuales más precisos. Para ello se ve obligado a recurrir a esquemas o modelos causales que van más allá de aquellas simples reglas de inferencia causal que veíamos en el apartado anterior. Dicho de otra manera, las teorías científicas se diferencian del conocimiento personal cotidiano no sólo en los conceptos o ideas en que se basan, sino también en su metodología y en las actitudes o formas de abordar los problemas. Como ha señalado D. Gil (1994) recientemente, el enfoque de las concepciones alternativas ha reducido el aprendizaje de la ciencia al problema del cambio conceptual, cuando ese problema no puede separarse del cambio metodológico y actitudinal que debe lograrse para construir a partir de las teorías implícitas un conocimiento científico.

Desde el punto de la metodología en que se basan, algunos autores sostienen que las teorías científicas tienden a ser deductivas y falsacionistas mientras que las teorías personales serían más bien inductivas y verificacionistas. Aunque esta diferencia no sea, una vez más, dicotómica, dada la resistencia a la falsación existente en la propia labor científica, puede mantenerse como una tendencia. Dado el distinto objetivo de las teorías personales y las teorías científicas el papel de los datos contrarios a ellas es muy diferente en uno u otro caso. La aparición de un solo dato contrario muestra la falsedad de una teoría científica, pero reduce muy poco la utilidad de una teoría personal que se ha aplicado con eficacia en muchas ocasiones anteriores. El cambio de las teorías implícitas a las científicas debe acompañarse con un cambio paralelo en los mecanismos de adquisición o construcción de esas teorías. En el apartado anterior vimos los distintos orígenes de los conocimientos previos de los alumnos. La principal diferencia reside en que las teorías científicas son producto de la reflexión y la conceptualización, basada en ciertos procedimientos técnicos de observación, medición, registro, etc, cosa que no suele suceder con las teorías implícitas, basadas, como veíamos en una "metodología de la superficialidad".

Pero además de estas diferencias metodológicas, pueden identificarse ciertos rasgos en las estructuras conceptuales comunes a diversas teorías implícitas mantenidas por los alumnos, que

les diferenciarían de las teorías científicas. Esos rasgos estructurales actuarían como verdaderos obstáculos epistemológicos que tendrían que ser superados en cada dominio concreto, de forma que su superación caracteriza precisamente a la mayor parte de las teorías científicas. Estas restricciones estructurales que pueden identificarse en algunas de las teorías implícitas de los alumnos conectarían con un concepto central en la concepción piagetiana sobre el pensamiento formal, al que hemos hecho referencia con anterioridad: los esquemas operatorios formales.

El cambio en las estructuras conceptuales de dominio o la vuelta a los esquemas operatorios formales

A partir de los esquemas operatorios formales de Inhelder y Piaget (1955), podemos establecer tres características estructurales de las teorías implícitas de los alumnos, que se contraponen al uso de esos esquemas operatorios formales, que son característicos de las teorías científicas. Dicho de otra manera, el alumno no logrará asimilar el conocimiento científico que se le presenta en el aula a menos que logre analizar la tarea mediante un esquema conceptual más complejo, que tiene las características del pensamiento formal piagetiano. A continuación presentamos de un modo breve, y con algunos ejemplos, esos tres grandes grupos de dificultades.

a) Causalidad lineal vs. interacción de sistemas

Los alumnos tienden a recurrir a un esquema causal muy simple para explicar los acontecimientos según el cual la relación entre la causa y el efecto es lineal y en un solo sentido. Sin embargo, la mayor parte de las teorías científicas requieren entender las situaciones como una interacción de sistemas en las que como mínimo se produce una de las dos situaciones siguientes:

- ? La relación causa/efecto no es en un solo sentido, sino que implica una relación recíproca. No es que un agente actúe sobre un objeto modificándolo, sino que dos sistemas interactúan modificándose mutuamente
- ? La relación implica no sólo una causa sino la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado. Además esa relación puede tomar a veces la forma de una compensación multiplicativa, en la que dos factores se compensan entre sí para producir un efecto constante. Estas compensaciones adoptan la forma habitual de una proporción inversa, implicando por tanto el uso de un esquema cuantitativo, al que luego nos referiremos.

b) Cambio y transformación vs. conservación y equilibrio

Otra restricción estructural en las teorías implícitas de los alumnos, muy vinculada a la anterior, es la tendencia del pensamiento causal cotidiano a centrarse en el cambio más que en los estados.

- ? En la terminología empleada por el propio Piaget, diríamos que las teorías implícitas de los alumnos se centran en lo que se transforma pero no en lo que se conserva. Sin embargo, la mayor parte de los conceptos científicos implican una conservación. Cuando la conservación es directamente observable es asequible para los niños del período operacional concreto. Pero cuando se trata de una conservación no observable, sólo puede alcanzarse por vía conceptual, es decir tomando conciencia de las relaciones entre conceptos.
- ? Comprender la naturaleza como un sistema de equilibrio en diversos parámetros es quizá uno de los logros más sustantivos del conocimiento científico. Sin embargo, a los alumnos

les resulta muy difícil entender el equilibrio, ya sea mecánico, físico, químico, o ecológico, es decir como un sistema dinámico, un ciclo son principio ni fin en que la interacción de diversos sistemas produce cambios en otros elementos del sistema.

c) Relaciones cualitativas vs. esquemas de cuantificación

En nuestra vida cotidiana tendemos a establecer relaciones cualitativas entre los hechos que escasamente somos capaces de cuantificar. Sin embargo, la ciencia se caracteriza por el uso de operaciones cuantitativas precisas, que determinan no sólo si existe una relación entre dos hechos sino también en qué cantidad existe. Esta necesidad de cuantificar se traduce, en el caso del pensamiento científico, en el uso combinado de tres esquemas de cuantificación, cuyo uso dista mucho de ser general entre los adolescentes e incluso los adultos universitarios (Pérez Echeverría, 1991):

- ? La proporción: la mayor parte de los conceptos científicos implican, como decíamos anteriormente, una relación entre dos conceptos. Pero en el caso de las ciencias físico-naturales esa relación suele adoptar además la forma de una proporción. Sin embargo, las investigaciones muestran que ante tareas que requieren un cálculo proporcional los alumnos, universitarios incluidos, tienden a utilizar estrategias simplificadoras, que se basan en análisis cualitativos o en reglas más simples, como la regla aditiva o las correspondencias.
- ? La probabilidad: aunque la mayor parte de la ciencia que se les puede enseñar a los adolescentes no corresponde a la ciencia del siglo XX y por tanto es más bien determinista, existen numerosas nociones científicas que requieren la comprensión de la probabilidad y el azar. Y sin embargo, nuevamente, los estudios muestran que el azar y la probabilidad están lejos de ser nociones intuitivas y que su comprensión es limitada entre los adolescentes y también entre los adultos.
- ? La correlación: se trata de un esquema útil para el análisis de datos probabilísticos, muy utilizado en las ciencias sociales y en el análisis de series numéricas en las ciencias físiconaturales, basado en todos los casos en el dominio de técnicas estadísticas de complejidad diversa. Es sin duda el menos intuitivo y el más difícil de emplear, incluso por adultos especializados, ya que en su lugar tendemos a usar reglas de covariación simple como las señaladas en el apartado anterior.

Desde un marco teórico basado en este tipo de estructuras, u otras similares, el cambio conceptual es algo muy diferente del paso de un concepto específico (erróneo) por otro concepto específico (el científico). Es más bien un cambio en la forma de conceptualizar o en los esquemas conceptuales que se utilizan para interpretar los problemas. Pero tampoco se trata necesariamente de un cambio estructural general, sino únicamente de cambios que se producen en dominios específicos de conocimiento, a partir de los cuales podrían ser transferidos a otras áreas. Pero también implican una concepción más compleja del cambio conceptual, que no debe basarse "simplemente" en la sustitución de una idea por otra supuestamente más avanzada, sino que, por si esto fuera poco, debe tener en cuenta las diferencias entre el conocimiento personal y científico, tanto en su origen como en su estructura. De este tipo de enfoque se siguen algunas implicaciones o consecuencias para la elaboración de un currículo de ciencias, en sus metas, la organización de sus contenidos y sus metodologías didácticas, con las que concluiremos este documento.

Implicaciones curriculares de los modelos de cambio teórico

En primer lugar, un análisis como el que acabamos de realizar implica jerarquizar las dificultades conceptuales encontradas, con el fin de establecer diferentes secuencias o recorridos

didáticos -basados en recursos y metodologías diferencia- dos- para superar cada una de esas dificultades. La comprensión de todas las nociones no requeriría un tratamiento didáctico similar, basado en estrategias dirigidas al "cambio conceptual", sino que los verdaderos cambios conceptuales, que requieren una reestructuración profunda de las teorías (Pozo, 1989), deben restringirse a las representaciones centrales que diferencian a las teorías implícitas de los alumnos de los modelos científicos que pretendemos que aprendan, a partir de las estructuras conceptuales que acabamos de presentar.

Desde este enfoque, los currículos de ciencias, especialmente en estos niveles introductorios, deberían focalizarse sobre un número limitado de conceptos, en lugar de hacer esa presentación pormenorizada de la mayor parte de los conceptos relevantes desde cierta perspectiva disciplinar (el largo viaje con las cortinas bajadas de que nos habla Claxton). En la selección y organización de esos contenidos conceptuales debería considerarse como meta el cambio de las estructuras conceptuales más que de los conceptos específicos en sí mismos, si bien ello sólo puede lograrse trabajando desde contenidos concretos, para luego integrar esos conceptos específicos en estructuras conceptuales más generales. La comprensión de conceptos científicos específicos se vería facilitada si los alumnos han aprendido a analizar los problemas desde ciertas estructuras conceptuales.

Además, en la medida en que el conocimiento científico requiere una forma de conceptualizar la realidad distinta al conocimiento cotidiano -a la que Piaget llamaba pensamiento formal- implica no sólo nuevas estructuras conceptuales, sino también nuevas metodologías y nuevas formas de acercarse a los problemas. Así, la educación científica debe promover de manera solidaria cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales, si bien en esta etapa educativa debería ponerse más énfasis en los aspectos generales que en los dominios específicos de la ciencia. En este sentido, las actitudes y los procedimientos tienen un carácter más general (menos disciplinar) que los contenidos conceptuales, por lo que deberían ocupar un lugar esencial en los currículos de ciencias para la Educación Secundaria Obligatoria. Igualmente, como hemos señalado antes, los objetivos conceptuales deberían ser más generales (estructuras conceptuales) que específicos (conceptos específicos), aunque siempre a través de actividades didácticas concretas y específicas.

La decisión sobre una organización disciplinar o de Área en la educación científica para este período depende de la importancia concedida a los conceptos específicos como contenidos educativos, ya que en ellos se asienta la lógica de las disciplinas. Así, desde este enfoque se defendería una posición intermedia a la generalidad de la teoría piagetiana o a la especificidad del enfoque de las concepciones alternativas. La diferenciación entre las distintas disciplinas científicas debería ser una meta de la educación científica en esta etapa, pero no un criterio para la organización de los contenidos. Se trataría que de, al final de la etapa, el alumno diferencie distintos discursos o formas de enfrentarse a un mismo problema, basados en lógicas o epistemologías distintas (Química, Física, Biología, etc.), pero ello no debe implicar que, desde el comienzo de la etapa, el currículo diferencie entre distintas disciplinas, sino más bien al contrario. La diferenciación debe ser un fin de la educación, no un medio o un punto de partida.

Un tratamiento predisciplinar de los problemas debería basarse en el trabajo sobre las estructuras conceptuales que diferencian a las ciencias de las teorías implícitas con las que el alumno llega al aula. Otra meta sería por tanto diferenciar los discursos científicos de los modelos cotidianos. En este sentido, la propia naturaleza del cambio conceptual es más compleja, o menos lineal, de lo que tradicionalmente se ha supuesto, a partir de las estrategias de conflicto cognitivo promovidas desde el enfoque de las concepciones alternativas. Las teorías implícitas, en lugar de ser reemplazadas por los modelos científicos tras el cambio conceptual sueñen coexistir e incluso competir con ellos por su activación en diversos contextos. Ello entraría en aparente contradicción

con uno de los objetivos básicos de la enseñanza de la ciencia en la Educación Obligatoria: el uso del conocimiento científico para interpretar el mundo que nos rodea. En cuanto "consumidores" habituales de ciencia es necesario no sólo que conozcan los principales productos de la cultura científica sino también que sean capaces de utilizarlos en el análisis de problemas cotidianos, tanto sociales como personales, y en la toma de decisiones en la vida cotidiana.

Sin embargo, por loable que sea este empeño, hay datos abrumadores que muestran la dificultad de alcanzarlo, ya que los alumnos apenas transfieren sus conocimientos escolares más allá de las paredes del aula. Ello tradicionalmente no ha hecho sino incrementar los esfuerzos de investigación e innovación para hacer que los alumnos usen fuera del aula los conocimientos científicos en lugar de recurrir a sus conocimientos, creencias o teorías personales. Sin embargo, desde este enfoque del cambio teórico se está comenzando a reconsiderar la conveniencia de esa transferencia (por ej., Caravita y Hallden, 1994; Claxton, 1991; Pozo y Gómez Crespo, 1994).

Según este enfoque, la adquisición de una nueva teoría o modelo (por ej., la mecánica newtoniana o la teoría corpuscular) no tendría por qué implicar un abandono de las teorías implícitas, ya que las teorías científicas y las teorías implícitas implican niveles de análisis distintos, que los alumnos deberían aprender a diferenciar, utilizándolas de modo discriminativo en función del contexto, pero también a integrar en un todo explicativo, dado el mayor poder conceptual de las teorías científicas.

La diferenciación contextual entre el conocimiento científico y cotidiano hace necesario reconsiderar la función de la educación científica en el marco de las relaciones entre el conocimiento escolar y el conocimiento cotidiano y sus contextos de uso. El objetivo sería que el alumno aprendiera alternativas de conocimiento que debería saber diferenciar y utilizar de modo discriminativo en función del contexto. Entendida así, la transferencia sólo sería útil cuando las situaciones escolares y cotidianas compartieran las mismas metas. Mientras que la mayor parte de las situaciones cotidianas sólo requieren realizar una conducta eficaz (en términos piagetianos "tener éxito": por ej., acertar en el tiro a canasta o disolver el cacao en la leche), otras situaciones requieren una mayor conceptualización o reflexión ("comprender" por qué se acierta o se disuelve el cacao, en lugar de sólo tener éxito). Aprender ciencia es desde este enfoque una forma de analizar y conocer los problemas (basada en la reflexión, el uso de ciertos esquemas o estructuras conceptuales, la aplicación de ciertas metodologías, etc.) que requiere unas condiciones de aplicación restringidas que no son posibles ni deseables en muchos contextos cotidianos (Claxton, 1991). Habría que distinguir por tanto, en la selección de los contenidos, entre los problemas científicos, los problemas cotidianos y los problemas escolares (Pozo y Gómez Crespo, 1994) como tres niveles de análisis diferenciados, que no pueden reducirse a una racionalidad común. El objetivo del aprendizaje de la ciencia no sería tanto conocer el mundo que nos rodea sino como comprender algunos modelos científicos sobre el mundo que nos rodea y, a través de ellos, alcanzar un mayor grado de conocimiento sobre los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor.

Obviamente estos objetivos sólo pueden lograrse de un modo limitado en la primera adolescencia, pero no tanto por limitaciones en el desarrollo cognitivo de los alumnos como por los propios límites que impone la estructura y el desarrollo de los currículos. Si la cantidad de información presentada y los contenidos conceptuales se seleccionan y reducen adecuadamente, estos objetivos pueden lograrse en dominios o problemas determinados, próximos a la realidad de los alumnos, (por ej., la salud y el funcionamiento del organismo, el medioambiente, el comportamiento de objetos cotidianos, etc.) desde los cuales podrían transferirse algunos de los conocimientos adquiridos a nuevos dominios o tareas.

En cualquier caso, estos objetivos son incompatibles con una concepción academicista de la educación científica, consistente en presentar los principales núcleos del saber científico como

una verdad establecida que todo ciudadano debe conocer. En nuestra opinión ese conocimiento es baldío si no se acompaña de una comprensión de la información recibida. Los datos de la investigación psicológica y didáctica en numerosos países avalan el hecho de que los currículos enciclopédicos al uso no promueven niveles satisfactorios de comprensión entre los alumnos, no ya en la Educación Primaria y Secundaria sino ni siquiera en el Bachillerato. En las páginas anteriores, hemos repasado tres alternativas curriculares constructivistas que, con distinto grado de concreción, implican propuestas diferenciadas, cuyo desarrollo, a su vez, requeriría cambios en la organización educativa, la formación del profesorado y los recursos didácticos disponibles.

Volviendo al comienzo de este trabajo, la fuente psicológica es sólo uno de los criterios que deben considerarse para tomar decisiones educativas, por lo que la viabilidad de cada una de estas alternativas dependería también del grado en que los cambios curriculares puedan acompañarse de otros cambios paralelos en el funcionamiento del sistema educativo que hicieran posibles esas alternativas. Como señalan Duchsl y Hamilton (1992) conviene diferenciar entre el currículo propuesto, el currículo aplicado y el currículo logrado. Del equilibrio entre la fuente psicológica y otras fuentes dependerá el que la distancia entre estos tres niveles de análisis del currículo sea, como sería deseable, lo más estrecha posible.

Referencias

- Ausubel, D.P.; Novak, J.D. y Hanesian, H. (1978) *Psicología Educativa*. México, Trillas, 1983.
- Black, P.J. y Lucas, M. (Eds.) (1993) *Children's informal ideas in science*. Londres: Routledge
- Caravita, S. y Hallden, O. (1994) Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 89-111
- Carretero, M. (1985) El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: Las operaciones formales. En M.Carretero; A.Marchesi y J.Palacios (Eds.) *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y senectud*. Madrid: Alianza Psicología.
- Case, R. (1991) *The mind's staircase*. Hillsdale, N.J. L.E.A.
- Castorina, J.A. y Palau, G.D. (1981) *Introducción a la lógica operatoria de Piaget*. Buenos Aires: Paidós
- Chi, M.T.H.; Slotka, J. y Leeuw, W. (1994) "From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts". *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.
- Claxton, G. (1984) *Live and learn*. Londres: Harper & Row. Trad. cast. de C. González: *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza, 1987.
- Claxton, G. (1991) *Educating the inquiring mind. The challenge for school science*. Londres: Harvester
- Delval, J. (1994) *El desarrollo humano*. Madrid: Siglo XXI
- Driver, R.; Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985) *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Duchsl, R. y Hamilton, R.J. (Eds.) (1992) *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*. Princeton, N.J.: Princeton University Press
- Duit, R. (1994) Conceptual change. Approaches in science education. Paper presented at the Symposium of Conceptual Change. University of Jena, Alemania, septiembre de 1994.
- GIL, D. (1994)
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1988) *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia/MEC.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1955) De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent. Paris: P.U.F. Trad. cast. de M.T. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. Paris: P.U.F. Trad. cast. de M.T. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.

- Osborne, R. J. y Freyberg, P. (Eds) (1985) *Learning and science: the implications of "children's science"*. N. Zelanda: Heinemann Educational.
- Pérez Echeverría, M. P. (1991) *Psicología del razonamiento probabilístico*. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Pozo, J.I. (1989) *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Pozo, J.I. (1996) *Aprendices y maestros. La nueva cultura del aprendizaje*. Madrid: Alianza.
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1987) Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas. ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1994) "La solución de problemas en Ciencias de la Naturaleza" en: J.I. Pozo (ed.) *Solución de problemas*. Madrid: Santillana/Aula XXI
- Pozo, J.I.; Gómez Crespo, M.A.; Limón, M. y Sanz, A. (1991) *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia*. Madrid: Servicio de Publicaciones del M.E.C.
- Pozo, J.I.; Pérez Echeverría, M.P.; Sanz, A. y Limón, M. (1992) "Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas". *Infancia y aprendizaje*, 57, (3-22).
- Shayer, M. y Adey, P. (1981) *Towards a science of science teaching*. Londres: Heinemann Educational Books. Trad. cast. de A. Camero: *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea, 1984
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.