

# Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia?\*

Juan Ignacio Pozo  
Mario Carretero\*

Universidad Autónoma de Madrid

## INTRODUCCION

Hace no muchos años algunos profesores de ciencias, inquietos por el fracaso sistemático de sus alumnos en la comprensión de algunos aspectos básicos de la ciencia, descubrieron la existencia de algunos modelos o teorías psicológicas que parecían explicar bastante bien por qué los alumnos adolescentes no entendían la ciencia. El mejor modelo explicativo era sin duda la teoría de las operaciones formales de Piaget. Se decía entonces que los alumnos no comprendían la ciencia «porque no son formales», «porque son concretos». El gran problema para el profesor que asumía estas ideas era conseguir determinar el nivel operatorio general (concreto o formal) de sus alumnos. Pero en los últimos años se ha ido introduciendo una terminología nueva en la investigación sobre la comprensión adolescente de la ciencia. Ahora es frecuente oír o leer que los alumnos poseen «concepciones espontáneas» o «preconceptos» sobre los fenómenos científicos, frecuentemente erróneos. Se ha pasado de creer que los alumnos eran o debían ser hábiles metodólogos y científicos en miniatura, capaces de llevar a cabo sagaces experimentos, a atribuirles ideas torpes y gravemente desviadas sobre los hechos científicos. Con ello se han cambiado también sutilmente los objetivos a los que debe dirigirse la enseñanza de la ciencia. Antes se creía que la enseñanza de la ciencia debía facilitar el desarrollo del pensamiento formal en el alumno, fomentando su formación *metodológica* mediante la realización de pequeñas investigaciones de laboratorio. Hoy se acepta que el alumno tiene graves obstáculos *conceptuales* para comprender esos mismos hechos científicos estudiados en el laboratorio y que, por tanto, su formación científica debe dirigirse ante todo a superar esas concepciones desviadas.

En el presente artículo nos proponemos analizar de modo forzosamente sintetizado las razones, de orden teórico y práctico, que han impulsado el cambio que estamos comentando. Asimismo es obligado

\* Dirección de los autores: Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049. Madrid.

\*\* La preparación de los artículos de Juan Ignacio Pozo y Mario Carretero que forman parte de este «Tema Monográfico» se ha beneficiado de la concesión de la Ayuda núm. 2716/83 por parte de la CAICYT.

plantearse las diferencias que existen, desde el punto de vista de la psicología del adolescente, entre ambos modelos. También debemos preguntarnos en qué medida resultan compatibles ambas posiciones. ¿Qué conexión existe entre el desarrollo del pensamiento formal y la aparición de ideas espontáneas científicamente desviadas? ¿Asegura el pensamiento formal la superación de esas ideas y el acceso al conocimiento científico correcto? La respuesta a este tipo de preguntas tiene implicaciones importantes para la enseñanza de la ciencia, por lo que debemos plantearnos las repercusiones didácticas de dicho cambio. ¿Qué tipo de enseñanza de la ciencia se deriva de cada una de esas dos posiciones? ¿Se puede utilizar la misma metodología didáctica para fomentar el desarrollo del pensamiento formal y para hacer progresar las ideas científicas de los alumnos? Las respuestas a estas preguntas deben empezar necesariamente por revisar el retrato piagetiano del alumno adolescente y el tipo de enseñanza de la ciencia que se deriva de ese retrato.

## **EL PENSAMIENTO FORMAL: ¿PUEDE LA CIENCIA DESARROLLAR EL RAZONAMIENTO?**

### **Características generales del pensamiento formal**

Han pasado treinta años desde la publicación del ya clásico libro de Inhelder y Piaget (1955), *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, en el que establecieron los rasgos fundamentales del pensamiento formal, característico, según los autores, de los adolescentes. No vamos a detenernos aquí en una exposición detallada de esos rasgos, ya que a estas alturas son sobradamente conocidos, existiendo múltiples fuentes en las que puede encontrarse esa exposición (por ejemplo, Carretero, 1985a; Castorina y Palau, 1981; Flavell, 1963, 1977). Baste decir que el pensamiento formal constituye, en el complejo edificio lógico de Piaget, el último piso o estadio del desarrollo cognitivo, siendo por tanto característico no sólo de los adolescentes sino también de los adultos. Las operaciones formales surgirían, según Inhelder y Piaget (1955), al comienzo de la adolescencia (11-12 años) a partir de las operaciones concretas precedentes y se desarrollarían durante toda la adolescencia, de forma que a la conclusión de la misma los alumnos dispondrían de un pensamiento estructural y funcionalmente equivalente al de un científico ingenuo. Así, ante un problema como, por ejemplo, establecer cuáles de los factores presentes (distancia, altura e inclinación del trampolín y tamaño y peso de la bola) determinan la longitud del salto de una bola que se deja caer por un plano inclinado (Inhelder y Piaget, 1955, cap. V), el adolescente, capacitado para razonar formalmente, formulará hipótesis, planificará experiencias para comprobarlas y finalmente logrará identificar el único factor causal determinante (altura), excluyendo el resto a partir de deducciones exclusivamente formales, es decir, ajenas al contenido o los conceptos concretos presentes en el problema. La aplicación sistemática de este pensamiento formal permitirá también, según Inhelder y Piaget (1955, cap. VIII) que el adolescente comprenda, por ejemplo, la conservación del movimiento uniforme y rectilíneo (principio de inercia) que resultaba inalcanzable para niños de menor edad o preadolescentes, limitados a pensar sobre lo concreto y no sobre lo posible.

Dejando a un lado las intrincadas explicaciones piagetianas sobre la aparición del pensamiento formal precisamente durante la adolescencia, así como su tenacidad en la formalización lógica de dicho pensamiento, el retrato intelectual que Inhelder y Piaget (1955) hacen del alumno adolescente tiene varios rasgos relevantes para la enseñanza de cualquier cuerpo de conocimiento científico (Carretero, 1985a; Pozo y Carretero, 1986):

a) Los adolescentes (especialmente a partir de los 14-15 años) poseen un pensamiento cualitativamente distinto del que tienen los alumnos de menor edad, pero igual en sus rasgos estructurales y funcionales al pensamiento adulto, dado que las operaciones formales constituyen el último escalón del edificio cognitivo.

b) El pensamiento formal se desarrolla de modo espontáneo y es, por tanto, universal, estando supuestamente presente en todos los adolescentes y adultos, a partir de los 14-15 años, o al menos en todos aquellos que, dentro de las sociedades occidentales, hayan sido debidamente escolarizados (algunos aspectos del pensamiento formal en culturas distintas de la occidental pueden encontrarse en Carretero, 1981).

c) El pensamiento formal es un rasgo general del funcionamiento cognitivo, siendo por naturaleza uniforme y homogéneo, ya que constituye un sistema de conjunto que permite acceder de modo simultáneo a distintos esquemas operacionales formales (por ejemplo, proporción, equilibrio mecánico, conservaciones no observables, etc.).

d) El pensamiento formal se apoya no en los objetos o situaciones directamente percibidos sino en representaciones proposicionales o verbales de dichos objetos. Atiende por tanto a la estructura formal de las relaciones entre los objetos presentes y no al contenido. Por ello el pensamiento formal, haciendo honor a su nombre, es ajeno al contenido de la tarea a la que se aplica, es decir, puede aplicarse con éxito a contenidos muy diferentes.

En definitiva, de los rasgos anteriores surge una persona ya madura cognitivamente, dotada de un pensamiento no sólo muy potente sino también susceptible de ser aplicado a situaciones y problemas muy diversos sin pérdida apreciable de efectividad, gracias al cual, y en palabras del propio Piaget (1971, págs. 147-148 de la traducción castellana), «*existe un acuerdo permanente entre los instrumentos deductivos y la experiencia*». Obviamente un pensamiento de este tipo es un arma eficazísima y prácticamente imprescindible para la comprensión de la ciencia. No es extraño por ello que los movimientos renovadores en enseñanza de la ciencia se sintieran atraídos por el planteamiento piagetiano y convirtieran el pensamiento formal en el objetivo, más o menos utópico y más o menos explícito, de muchos de sus esfuerzos.

### El pensamiento formal como objetivo educativo

Según la posición piagetiana clásica, recogida en el citado libro de Inhelder y Piaget (1955), el pensamiento formal sería no sólo una condición necesaria sino probablemente suficiente para acceder al conocimiento científico. Esto hizo que, si bien el propio Piaget no se ocupó directamente de ello, muchas personas se decidieran a aplicar sus ideas psicológicas y epistemológicas a la enseñanza de la ciencia. La mayor parte de esas aplicaciones consistieron en definir los rasgos del pensamiento formal como objetivo prioritario —si no único— de la ense-

ñanza de la ciencia. Así, la aplicación educativa de Piaget a este terreno, como sucedió también en otros casos (Kuhn, 1979), consistió básicamente en diseñar currícula que fomentaran el desarrollo cognitivo del adolescente, facilitando su acceso a las operaciones formales. Las tareas utilizadas en las investigaciones piagetianas se convirtieron en tareas escolares y los esquemas formales identificados por Piaget pasaron a ser contenidos prioritarios en la enseñanza de la ciencia.

La lógica que subyacía a este planteamiento es clara: si el pensamiento formal actúa con independencia de los contenidos concretos a los que se aplica, proporcionando a los alumnos las habilidades y estructuras de ese pensamiento formal estarán en condiciones de entender *cualquier* contenido científico; por lo tanto, en vez de proporcionar a los alumnos conceptos específicos es más útil y económico dotarles de una habilidad general que les permita acceder por sí mismos a esos conceptos. De esta forma, los contenidos escolares y las propias disciplinas científicas dejan de ser un fin en sí mismas para convertirse en un vehículo para el desarrollo del pensamiento formal. Esta subordinación de los núcleos conceptuales de la ciencia a los procesos psicológicos del alumno se extiende no sólo a las ciencias físicas y naturales sino también a las ciencias sociales (Pozo, Carretero y Asensio, 1987) y a otras «asignaturas». En último extremo, dado el carácter general y homogéneo del pensamiento formal —definido como la estructura psicológica del método científico— todas las disciplinas deben estar dirigidas a enseñar al alumno a pensar formalmente, con independencia del contenido, y a aprender por sí mismo. Esta idea de que los contenidos científicos deben dirigirse ante todo a promover el desarrollo cognitivo del alumno queda perfectamente reflejada en el título de un significativo artículo de Fuller, Karplus y Lawson (1977), parafraseado en el título recogido unas páginas atrás: *Can physics develop reasoning? (¿Puede la física desarrollar el razonamiento?)*. La única razón para justificar la existencia de contenidos científicos en el currículum parece ser su supuesta capacidad para alentar el progreso del pensamiento formal<sup>1</sup>.

Así las cosas, los profesores que asumieran la concepción piagetiana deberían dirigir su enseñanza a facilitar al alumno el dominio del método científico en vez de proporcionarle los conceptos básicos de la ciencia. Esta decisión tiene implicaciones obvias con respecto a la estrategia didáctica más eficaz. Dentro de la distinción un tanto extrema entre *enseñanza receptiva* y *enseñanza por descubrimiento*, las concepciones piagetianas conducen a esta última opción. Si lo que se pretende es que el alumno descubra las explicaciones científicas por sí mismo, lo mejor es exponerle a problemas abiertos sobre los que aplique las habilidades inferenciales adquiridas. Es casi obligado citar aquí la tan conocida frase de Piaget (1970a, págs. 28-29 de la traducción castellana) según la cual «*cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente*». Por tanto, la transmisión expositiva de conceptos científicos es no sólo ineficaz sino incluso contraproducente<sup>2</sup>.

No vamos a entrar aquí a analizar las ventajas y los inconvenientes de la estrategia de enseñanza por descubrimiento, ya sea autónomo o dirigido (véase, al respecto, Ausubel, Novak y Hanesian, 1978; también Pozo, 1987a). Simplemente queremos resaltar que la utilización exclusiva o prioritaria de esa estrategia en la enseñanza de la ciencia

se basa en la supuesta omnipotencia y homogeneidad del pensamiento formal. ¿Pero es realmente así? ¿Puede el alumno «descubrir» los conceptos científicos fundamentales por sí mismo? Nuevos datos con respecto al desarrollo del pensamiento formal, recogidos con posterioridad al trabajo pionero de Inhelder y Piaget (1955), ponen claramente en quiebra la supuesta omnipotencia del pensamiento formal.

### Nuevos datos sobre el pensamiento formal: la crisis de la omnipotencia lógica

Desde la publicación del ya citado libro de Inhelder y Piaget (1955) hasta la actualidad se ha realizado un número ingente de investigaciones sobre el desarrollo del pensamiento formal —la mayor parte de ellas con contenidos científicos— por lo que es imposible revisarlas aquí. El lector encontrará análisis más extensos y detallados que el resumen que vamos a presentar aquí, entre otros en Carretero (1980a, 1980b, 1985a), Nagy y Griffiths (1982), Neimark (1981, 1982), Pozo (1987a) y Pozo y Carretero (1986).

En términos generales el conjunto de trabajos realizados viene a confirmar la importancia del trabajo piagetiano en esta área. Con algunas discrepancias, suele confirmarse la habilidad y perspicacia de los autores de Ginebra al seleccionar las tareas y al establecer los criterios de análisis. Surgen, sin embargo, desacuerdos importantes, algunos de los cuales acabaron por ser admitidos, aunque no explicados, por el propio Piaget (1970b). Así, se ha comprobado que el pensamiento formal dista mucho de ser universal ni siquiera entre los adultos universitarios. Normalmente sólo la mitad de los sujetos de esas investigaciones suele mostrar un pensamiento claramente formal. Pero este dato no afecta a las aplicaciones del modelo del pensamiento formal a la enseñanza de la ciencia, sino que, al contrario, refuerza la necesidad de fomentar su desarrollo en los alumnos. Existen, sin embargo, otro tipo de datos que sí ponen en duda la eficacia de la estrategia didáctica antes comentada. Se ha comprobado, en contra de los supuestos originales de Piaget, que no todos los esquemas formales se adquieren simultáneamente, poniendo en duda la existencia de una estructura de conjunto en el pensamiento formal. Dicho en otras palabras, las llamadas operaciones formales no constituyen un todo homogéneo sino que parecen ser más bien una etiqueta para denominar adquisiciones cognitivas de complejidad diversa. Así, por ejemplo, es perfectamente posible —y casi probable— que un alumno sea capaz de controlar variables y que en cambio no razone proporcionalmente. Pero aún hay más. Se ha comprobado sobradamente que en la resolución de tareas formales no sólo influye la estructura lógica del problema —como postulaba el modelo piagetiano— sino también el contenido a que se refiera dicho problema. Esta influencia del contenido está mediatizada esencialmente por las ideas o concepciones previas que el sujeto tenga con respecto a ese contenido.

En definitiva, según los datos disponibles parece que el pensamiento formal no sólo no es universal —y, por tanto, al no desarrollarse espontáneamente, requiere instrucción— sino que tampoco es un *pensamiento* con una estructura de conjunto sino un conjunto de estrategias o esquemas para la solución de problemas que no se adquieren unitariamente y, para mayor desgracia, ni siquiera es totalmente *formal*, ya que depende decisivamente del contenido de la tarea. El cuadro que

emerge de todo esto es mucho más complejo y confuso de lo que la extraordinaria racionalidad piagetiana hacía presumir (para un análisis crítico de la situación actual de los estudios sobre pensamiento formal, véase Carretero, 1985a). Sin entrar a profundizar en los perfiles de ese cuadro, parece claro que aquel nítido retrato del alumno adolescente que nos ofrecían Inhelder y Piaget (1955) ha quedado gravemente desfigurado. Como consecuencia de ello, la estrategia didáctica basada en ese retrato quizás deba modificarse también.

Dejando a un lado otro tipo de consideraciones, vamos a referirnos aquí a uno solo de los aspectos críticos a los que se ha aludido anteriormente, por ser el más relevante para nuestros propósitos: la influencia del contenido sobre el razonamiento formal. El hecho de que el pensamiento formal no haga honor a su nombre y condición y precise de unas ideas previas del sujeto con respecto a contenidos específicos tiene más implicaciones para la enseñanza de la ciencia de las que a simple vista pudiera parecer. Recordemos que, según la posición piagetiana, un alumno, capaz de pensar formalmente, enfrentado por ejemplo a aquella tarea de la caída de la bola por un plano inclinado, lograría excluir, por aplicación de una versión ingenua del método científico, todos los factores causalmente irrelevantes, aceptando sólo la influencia de la altura. Pero no sólo lograría eso. Además, aplicando sus habilidades de pensamiento formal alcanzaría a comprender, en una tarea parecida, el principio de inercia (Inhelder y Piaget, 1955, cap. VIII). Es decir, la aplicación de esa versión ingenua del método científico no sólo permitiría al alumno descubrir *qué* factores influyen, sino también *por qué* influyen. Sin embargo, cuando se enfrenta a alumnos adolescentes con este tipo de problemas, la realidad parece ser muy distinta. Como muestra Pozo (en este mismo número) los adolescentes, e incluso los adultos universitarios no expertos en el área, aun pensando formalmente, distan mucho de aislar los factores correctos y aún más de comprenderlos. La influencia de las ideas previas (o *concepciones espontáneas*) de los alumnos con respecto a cómo y por qué se mueven los objetos es en este sentido decisiva. Además, los adolescentes tienen serias dificultades para desechar una de las hipótesis posibles sobre un fenómeno científico, aun cuando le haya sido propuesta como una de las hipótesis alternativas por otras personas (Carretero, en este mismo número). De hecho, el supuesto piagetiano según el cual la aplicación sistemática de la versión ingenua del método científico eliminaría lo que de modo significativo Piaget (1971) denomina «*resistencias del objeto*», alcanzándose *un acuerdo permanente entre los instrumentos deductivos y la experiencia*, puede resultar contrario no sólo a las posiciones vigentes en Filosofía e Historia de la Ciencia (por ejemplo, Kuhn, 1962; Lakatos, 1978) sino incluso a las propias posiciones epistemológicas constructivistas de Piaget (Pozo, 1987a). Tras la supuesta omnipotencia lógica del pensamiento formal se oculta un inductivismo ingenuo (D'Amour, 1979; con respecto a sus implicaciones didácticas, véase Gil, 1983, 1986), según el cual la mera aplicación de una metodología adecuada permitirá acceder a concepciones científicas más avanzadas. Pero hay pruebas suficientes, tanto desde la Psicología como desde la Historia de la Ciencia de que, contrariamente a esos supuestos, las reglas formales de razonamiento no aseguran el descubrimiento de explicaciones adecuadas de los hechos. Adultos universitarios especialistas en otras disciplinas distintas de las ciencias físicas, capaces de razonar formalmente en su área de especia-

lidad resuelven problemas de física con la misma habilidad que un alumno de séptimo de E.G.B. (Pozo, 1985, 1987b). Sin duda, las habilidades cognitivas recogidas por Piaget bajo el nombre de pensamiento formal son una condición *necesaria* para acceder al conocimiento científico, pero de ningún modo pueden aceptarse como condición *suficiente*.

La insuficiencia del pensamiento formal para acceder a cuerpos científicos elaborados tiene una influencia directa sobre el tipo de estrategia que puede usarse en el aula para enseñar ciencias. Contrariamente a lo que afirmaba Piaget, no parece que enseñando conceptos científicos a los alumnos les impidamos inventarlos, ya que por sí solos raramente serán capaces de ello. En otras palabras, la enseñanza por descubrimiento, incluso dirigida, no asegura por sí sola la adquisición de los núcleos conceptuales fundamentales de la ciencia por parte de los alumnos. A pesar de la mística que se ha generado en torno a la enseñanza por descubrimiento (véase para una crítica de la misma Ausubel, Novak y Hanesian, 1978; también Pozo, 1987a), no hay datos que avalen su eficacia superior con respecto a otras estrategias. Su justificación como estrategia didáctica excluyente se diluye a la misma velocidad que la omnipotencia lógica del pensamiento formal. Si la aplicación de este pensamiento formal es insuficiente para modificar las ideas previas —frecuentemente erróneas— de los alumnos sobre los hechos científicos, la estrategia didáctica basada en el ejercicio de ese pensamiento formal también resultará insuficiente.

Ahora bien, ¿a qué se debe esa frecuente incapacidad del pensamiento formal para modificar ideas ya establecidas? ¿Por qué una concepción espontánea del alumno se resiste a modificarse aun cuando se acumulen pruebas notables en su contra? Y en definitiva, si no basta con hacer pensar a los alumnos, ¿qué podemos hacer para que modifiquen esas ideas erróneas y accedan al conocimiento científicamente «correcto»? Los artículos que siguen a éste están dedicados a ofrecer una respuesta, siquiera parcial, a este tipo de preguntas. Pero antes conviene que analicemos con un mayor detalle en qué consisten esas concepciones espontáneas de los alumnos y qué cambios introducen en nuestra concepción de la enseñanza de la ciencia.

## LAS CONCEPCIONES ESPONTANEAS: ¿PUEDE EL RAZONAMIENTO DESARROLLAR LA CIENCIA?

Desde un punto de vista psicológico el retrato intelectual coherente que nos ofrecían Inhelder y Piaget (1955) del adolescente resulta seriamente fragmentado si asumimos la perspectiva de las concepciones espontáneas. Podríamos decir que en Piaget el funcionamiento intelectual del adolescente tiene un carácter «imperialista», ya que existe un férreo poder mental centralizado que gobierna e impone sus leyes en cualquier área o rincón del conocimiento, por remoto que éste sea. Hasta tal punto la autonomía local es ilegal en la teoría piagetiana que tamaño delito simplemente es etiquetado como un *décalage horizontal* (por ejemplo, Piaget, 1941), pero sin que en ningún momento sea suficientemente explicado y, menos aún, aceptado dentro de la teoría como algo más que una incómoda anomalía. En cambio, desde la perspectiva de las concepciones espontáneas el funcionamiento cognitivo aparentemente está próximo a la anarquía. Las diversas ideas parecen funcionar como pequeños «Reinos de Taifas», apenas conectados entre

sí, gobernados por leyes que desconocemos y que, se diría, no respetan el orden lógico de las cosas. La visión centralista, homogénea y ciegamente racionalista del conocimiento quedaría fragmentada en un sinfín de heterogeneidades regidas por sus propias leyes.

Pero afortunadamente, aunque la fragmentación sea real, el desgo-bierno al que parece conducir la adquisición y desarrollo de las concepciones espontáneas es sólo aparente. Más allá de la heterogeneidad superficial existen rasgos comunes a las diversas concepciones espontáneas en áreas tan dispersas como la física, la biología, la química, las matemáticas, la medicina, la economía, la historia, la psicología, etc. En todos estos dominios se han investigado en los últimos años una gran cantidad de ideas distintas, que es imposible obviamente ni siquiera referir aquí. Los artículos que siguen a éste recogen algunos ejemplos significativos de concepciones espontáneas científicamente desviadas en el dominio físico natural. Exposiciones y revisiones detalladas con respecto a aspectos concretos o problemas generales en este mismo dominio pueden encontrarse entre otros en Carey (1985), Driver (1981, 1983), Driver y Easley (1978), Driver y Erickson (1983), Driver, Guesne y Tiberghien (1985), Gentner y Stevens (1983), Helm y Novak (1983), Osborne y Freyberg (1985), Pozo (1987a) y West y Pines (1985). Pero más allá de la gran variedad metodológica y teórica que hay en estos trabajos existe un *mínimo común múltiplo* a todos ellos. Las diversas concepciones espontáneas que tienen los alumnos con respecto a fenómenos tan dispares comparten unas características comunes en cuanto a su naturaleza, a su origen y a su desarrollo. Cada uno de estos aspectos será objeto de un breve análisis.

## Naturaleza de las concepciones espontáneas

La Tabla 1 ilustra algunas de las concepciones espontáneas más significativas que se han identificado en el conocimiento científico, en este

TABLA I  
*Concepciones equivocadas sobre los fenómenos físicos que persisten en los adolescentes y adultos. Tomada de Carretero (1985a)*

Tema o contenido	Idea equivocada	Fuente consultada
Oscilación del péndulo	El peso del péndulo es el único factor que influye en la cantidad de oscilaciones en una unidad de tiempo.	Linn, 1977 Corral, 1982 Carretero, en preparación
Dinámica	Nociones aristotélicas sobre la fuerza y el movimiento. Por ejemplo, una moneda en medio del aire tiene una fuerza hacia arriba. Los objetos que se lanzan desde una trayectoria curva seguirán ese tipo de trayectoria.	Pozo, 1987a y en este mismo número
Calor y temperatura	Cuando se calienta agua, arena y azúcar, el agua se calienta pero el azúcar y la arena permanecen a la misma temperatura.	Erikson, 1979
Electricidad	La electricidad es un fluido.	Fredette y Lochhead, 1980
Flotación de los cuerpos	Es el peso y no la densidad lo que determina que un objeto flote o no.	Carretero, 1979 y 1984

caso físico, de alumnos no sólo adolescentes sino también adultos universitarios. Asimismo, en los artículos que siguen se presentan algunas investigaciones concretas con respecto a concepciones específicas. ¿Qué tienen en común todas esas concepciones? Sin pretender agotar todos los criterios que permiten identificar a las concepciones espontáneas, vamos a establecer algunos rasgos que, en nuestra opinión, caracterizan a dichas concepciones. En cualquier caso, es necesario señalar que no todos los rasgos que vamos a mencionar están siempre presentes en todas las concepciones espontáneas, pero muchos de ellos suelen concurrir en la mayor parte de los casos. Igualmente, como se indicará, algunos rasgos parecen más relevantes y definitorios de las concepciones espontáneas que otros.

En primer lugar, y aunque resulte tautológico, las concepciones espontáneas son *espontáneas*, es decir, surgen de un modo natural en la mente del alumno, sin que exista ninguna instrucción ni actividad educativa específicamente diseñada para producir las<sup>3</sup>. Generalmente, se producen en la interacción cotidiana de los niños y adolescentes con el mundo que les rodea. Podríamos considerarlas como la «ciencia intuitiva» del alumno (Osborne y Freyberg, 1985) y, en este sentido, suelen resultar adecuadas —es decir, altamente predictivas— a esas experiencias cotidianas. En otras palabras, un porcentaje muy elevado de las situaciones a las que se enfrenta un alumno fuera del aula suelen ser explicables a partir de sus concepciones espontáneas. Así, por ejemplo, es bien cierto, aunque sea científicamente incorrecto, que un objeto pesado se hunde más fácilmente que uno liviano (Carretero, 1979, 1984) o que para mover un objeto suele ser necesario aplicar una fuerza sobre él (Pozo, en este mismo número).

En estrecha relación con lo anterior, las concepciones espontáneas son construcciones más bien *personales* del alumno, es decir, proceden de su propia actividad intelectual y no son una adquisición que proceda directamente de su medio cultural o educativo. Esto equivale a afirmar que las concepciones espontáneas son el producto característico de las actividades de descubrimiento intelectual del alumno. Parafraseando de nuevo a Piaget, parece que todo lo que un alumno es capaz de «inventar» cuando no le enseñamos algo prematuramente son estas concepciones espontáneas.

Esta limitación en la capacidad de descubrimiento adquiere un significado educativo muy preciso si tenemos en cuenta que las concepciones espontáneas se caracterizan por ser *científicamente incorrectas*. Aunque obviamente los niños adquieren espontáneamente muchos conceptos que resultan ser correctos, como, por ejemplo, las conservaciones piagetianas correspondientes al período de las operaciones concretas, la mayor parte de las ideas que los alumnos elaboran espontáneamente suelen tener un grado de abstracción limitado y estar muy restringidas a lo observable, quedando, por tanto, notablemente alejadas de los conceptos que elabora la ciencia y que constituyen el objetivo de los currícula de ciencias. Más adelante precisaremos algo más el sentido en el que son incorrectas las concepciones espontáneas, pero por ahora baste señalar que, tal como indicábamos anteriormente, esas concepciones sólo se muestran incorrectas cuando se enfrentan a problemas de una cierta complejidad, generalmente con situaciones de laboratorio, siendo sin embargo eficaces para predecir lo que va a suceder en la mayor parte de los contextos cotidianos extraescolares.

Las concepciones espontáneas suelen ser además *implícitas*, esto es,

constituyen lo que se ha dado en llamar teorías-en-acción (Driver y Erickson, 1983; Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975) de las que muchas veces el alumno ni siquiera es plenamente consciente, siendo en consecuencia incapaz de verbalizarlas correctamente. En otras palabras, el alumno puede predecir correctamente un suceso pero es incapaz de decirnos por qué ocurre precisamente así. Ello no indica que carezca necesariamente de ideas con respecto al fenómeno sino posiblemente que no es capaz de reflexionar sobre ellas. De hecho, la regularidad de sus predicciones permite descubrir teorías implícitas fuertemente arraigadas (por ejemplo, Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975). Esta distancia entre lo que Piaget (1974) denomina *tener éxito* y *comprender* hace que frecuentemente la predicción correcta preceda evolutivamente a la explicación (por ejemplo, en el área de la causalidad, véase Bullock, Gelman y Baillargeon, 1982; Shultz, 1982). También puede resultar engañosa en muchos casos para el profesor, ya que una predicción correcta puede estar basada en una idea implícita incorrecta. La importancia de la toma de conciencia de sus propias ideas por parte del alumno es algo muy importante en relación con la superación de estas concepciones espontáneas (Pozo, 1987a), tanto desde un punto de vista psicológico como educativo.

Al no ser siempre consciente el alumno de sus propias ideas, éstas no forman un sistema elaborado, de forma que en muchas ocasiones las concepciones espontáneas pueden ser *incoherentes* o contradictorias entre sí. Problemas que científicamente son similares pueden ser resueltos de modo distinto por el alumno, situaciones que requieren la misma explicación pueden ser explicadas de formas diferentes. Además, el alumno puede contradecirse de modo literal, haciendo afirmaciones que son contrarias a sus propias predicciones. Cualquiera de estos tipos de contradicción es enormemente revelador de la estructura u organización interna de la teoría implícita del alumno y es susceptible de ser utilizado para favorecer la superación de las concepciones espontáneas desviadas en que se sustenta.

Además de todo lo anterior, las concepciones espontáneas son *resistentes al cambio*. De hecho, muchos de los datos que se han recogido sobre este tipo de ideas se han obtenido con alumnos que llevaban largos años recibiendo instrucción científica específica. Aunque no todas las ideas son igualmente persistentes y resistentes al cambio conceptual, en algunos casos se ha comprobado que incluso adultos universitarios ya licenciados en una disciplina cometen errores conceptuales generalizados en problemas de esa misma disciplina (por ejemplo, Sebastiá, 1984). Incluso, como muestran Otero y Brincones (en este mismo número), ni siquiera el diseño de materiales específicos para la enseñanza de un concepto asegura el abandono de la concepción espontánea correspondiente. En nuestra opinión, las razones de esta tenacidad y resistencia a la instrucción deben buscarse en el propio origen de las concepciones espontáneas, sobre el que volveremos un poco más adelante.

Un rasgo muy definitorio de la naturaleza de las concepciones espontáneas es que son prácticamente *ubicuas*, es decir, rara es el área en el que las personas no tenemos ideas preconcebidas como las que aquí estamos comentando. Como se ha señalado anteriormente su presencia se extiende más allá de las ciencias fisiconaturales y alcanza el dominio social e interpersonal. Sin embargo, su estudio se halla mucho más desarrollado en aquellos campos, como la física o la química, en

que resulta más fácil evaluar con precisión lo que hacen o piensan los alumnos. Esta ubicuidad de las concepciones espontáneas es muy informativa con respecto al funcionamiento cognitivo del ser humano y explica en parte la persistencia de esas ideas, como veremos más adelante.

Afortunadamente, para el profesor de ciencias y, en aparente contradicción con su carácter espontáneo y personal, las mismas concepciones espontáneas son *compartidas* por alumnos de distintas edades e incluso por adultos. En otras palabras, la mayor parte de los alumnos suelen incurrir sistemáticamente en los mismos errores conceptuales. Ello ha permitido identificar un buen número de concepciones espontáneas como las que recoge el cuadro 1, que se hallan generalizadas en amplios grupos de edades. El hecho de que un gran número de personas «inventen» por separado y de modo espontáneo el mismo tipo de nociones resulta muy informativo con respecto al origen de estas concepciones espontáneas, poniendo de manifiesto la existencia de algunas restricciones sistemáticas en el procesamiento humano de información que conducen, de modo casi inevitable, a ciertas construcciones intelectuales (Keil, 1981; de Vega, 1982-1983).

El rasgo de las concepciones espontáneas que acabamos de comentar resulta aún más importante si tenemos en cuenta que en algunos casos, aunque no en todos, las concepciones espontáneas de los alumnos tienen un carácter *histórico*, ya que reproducen fielmente etapas pasadas en la evolución del conocimiento científico. Esta sorprendente semejanza entre las ideas de los alumnos actuales y pensadores reputados de otras épocas, generalmente precientíficas, llega en algunos casos, como en el de las nociones de calor y temperatura (Wiser y Carey, 1983) o en el campo de la mecánica (por ejemplo, Piaget y García, 1981; Pozo, en este mismo número) a ser tan extrema que lleva a algunos autores, tras examinar las ideas de los alumnos, a afirmar, por ejemplo, que *Aristóteles no ha muerto* (Whitaker, 1983), ya que sus ideas reviven en cada uno de esos alumnos (que, por supuesto, ignoran por completo quién fue Aristóteles). El hecho de que las ideas sean compartidas no sólo por personas que viven aquí y ahora sino incluso a través de los siglos y las culturas refuerza la creencia de que, al menos en algunos casos significativos, las concepciones espontáneas están basadas en fuertes restricciones en la forma en que procesamos la información, producto de nuestra naturaleza biológica (de Vega, 1982-1983).

Pero además de todos los rasgos anteriores, propios de la mayor parte de las ideas intuitivas de los alumnos tomadas individualmente, las concepciones espontáneas dentro de un mismo dominio están relacionadas entre sí y *se organizan en forma de teorías*, generalmente implícitas. Es decir, las diferentes ideas de los alumnos sobre un mismo tema (por ejemplo, la electricidad o el origen de la vida) están conectadas entre sí. Generalmente, la organización de estas ideas adoptará la forma de una estructura jerárquica (Chi, Glaser y Rees, 1982; Pozo, 1987a) en la que algunos conceptos más abstractos o generales ocuparán la parte superior de la jerarquía, determinando en un alto grado el contenido de los conceptos subordinados. La existencia de estas jerarquías conceptuales, próxima a las posiciones de Ausubel, Novak y Hanesian (1978), explicaría en parte la resistencia de las concepciones espontáneas a ser modificadas, ya que de producirse, el cambio no afectaría a una sola idea individual sino a todo un sistema organizado (ver

Otero y Brincones, en este mismo número). Pero además de por su carácter organizado, se postula que las concepciones espontáneas constituyen *teorías* porque esas redes de conceptos jerárquicamente organizados tienen ante todo una función *explicativa* para el alumno: no se limitan a describir los hechos, sino que ante todo sirven para *predecir* y *controlar los acontecimientos*. Esta función de control que poseen las teorías está posiblemente en el origen de las concepciones espontáneas y explica en buena medida su resistencia a ser modificadas.

### El origen de las concepciones espontáneas

Al plantear el origen de las concepciones espontáneas es necesario hacerlo desde dos puntos de vista. En primer lugar, cabe preguntarse ¿por qué existen las concepciones espontáneas con todos los rasgos que acabamos de atribuirles? Se trata, por tanto, de preguntarse sobre el origen genérico de las concepciones espontáneas. Pero también podemos plantear otra pregunta complementaria: ¿por qué se producen de modo generalizado unas concepciones espontáneas determinadas? o, en otras palabras, ¿por qué tienen los alumnos sistemáticamente unas ideas y no otras? En este segundo caso estamos preguntando por el origen específico de una concepción determinada. Ambos problemas, el del origen genérico y el del origen específico de las concepciones espontáneas, son relevantes para decidir qué tipo de estrategia didáctica debe adoptarse para inducir en el alumno un cambio de sus persistentes ideas erróneas.

La respuesta a la pregunta sobre el origen genérico de las concepciones espontáneas exigiría un largo análisis sobre la naturaleza del funcionamiento cognitivo humano en el que esas concepciones están tan fuertemente arraigadas. Tal análisis es imposible aquí. Simplemente baste indicar que en la actualidad dentro de la psicología cognitiva está cobrando fuerza la idea de que los seres humanos somos procesadores *biológicos* de información (Keil, 1981; de Vega, 1982-1983), por lo que los criterios que rigen nuestro comportamiento y nuestro conocimiento del mundo son funcionales y no formales. En el área de la psicología del pensamiento (ver Carretero y García Madruga, 1984) esto se traduce en afirmar que el pensamiento humano no se rige por criterios exclusivamente lógicos —como pretendía Piaget en su caracterización del pensamiento formal— sino ante todo pragmáticos o funcionales (Pozo, 1987a). En otras palabras, nuestro pensamiento está guiado por criterios, biológicamente enraizados, de supervivencia. Uno de estos criterios de supervivencia parece ser la tendencia a controlar los acontecimientos, a la que aludíamos antes. Gracias a las teorías causales formadas por las concepciones espontáneas tenemos un cierto grado de control sobre los acontecimientos: podemos predecir cómo se comportará un objeto, qué tenemos que hacer para evitar una descarga eléctrica al manipular un electrodoméstico, etc. Dado que, como se señaló anteriormente, las concepciones espontáneas suelen tener un alto poder predictivo en la vida cotidiana, resulta desde este punto de vista razonable que no las modifiquemos a la primera contrariedad. Puesto que las concepciones forman parte de teorías más amplias, su cambio no implica sólo la sustitución por otra idea sino también un cambio de teoría. Y eso no es tan fácil. Como muestra no sólo la psicología del pensamiento (Carretero y García Madruga, 1984) sino también la historia de la ciencia (Lakatos, 1978) los seres humanos tenemos una

fuerte resistencia a modificar nuestras ideas sobre cualquier fenómeno. Sólo cambiamos de teoría cuando disponemos de otra teoría mejor que explica no sólo todo lo que explicaba la anterior, sino también otras cosas nuevas. Este cambio conceptual resulta particularmente difícil en el caso de las concepciones espontáneas, ya que «explican» bastante bien las situaciones cotidianas. Esto tiene que ver con el origen específico de las diversas concepciones espontáneas.

Tal vez la mejor forma de analizar cómo se origina cada concepción espontánea específica sea remitirse a algunos ejemplos. Una de las ideas espontáneas más estudiadas es la creencia generalizada entre muchos alumnos de que «los objetos flotan porque pesan poco» (Carrretero, 1979, 1984), es decir, la creencia de que no es el peso específico sino el absoluto el que determina la flotación o el hundimiento de un objeto. Aunque esta idea es obviamente incorrecta desde un punto de vista científico está basada sin embargo en una experiencia *fenomenológica* cotidiana. En realidad, los objetos más pesados, en términos absolutos, suelen hundirse con mayor frecuencia que los menos pesados, ya que su peso absoluto depende de su peso específico. Además, los seres humanos podemos *percibir* de modo propioceptivo el peso absoluto de un objeto, mientras que su peso específico es una elaboración conceptual no directamente perceptible. Si consideramos ambos factores —el procesamiento directo de la información sobre el peso absoluto y la frecuencia con que la regla del peso tiene éxito— debemos admitir que resulta bastante eficaz para hacer predicciones —y, por tanto, para *controlar* el hundimiento de los objetos— en la vida cotidiana. Pero esta importancia del peso en la concepción que tenemos del mundo físico los humanos se ha observado también en otras muchas áreas de investigación. Así, se ha observado que es una de las primeras «nociones» sensoriomotrices que adquiere el bebé (Mounoud y Bower, 1974); igualmente dentro de las conservaciones piagetianas propias del período de las operaciones concretas el peso se adquiere antes que la noción de volumen (Piaget e Inhelder, 1941). Esta preferencia del peso con respecto a otros conceptos se debe probablemente a la propia naturaleza del ser humano como procesador biológico de información.

Esta naturaleza queda aún más clara si analizamos otra área en el que también el peso parece ocupar un lugar preferente: las ideas espontáneas sobre el movimiento de los objetos (véase Pozo, 1987a; también en este mismo número). Se ha comprobado que una de las concepciones espontáneas más persistentes es la de que «todo movimiento implica una fuerza». Esta afirmación, visiblemente contraria a las leyes newtonianas de la mecánica, es sin embargo *fenomenológicamente* cierta. Para mover un objeto en este mundo lleno de rozamientos y fuerzas ocultas —para la percepción humana— es necesario realizar una fuerza sobre él. El reposo y el movimiento, en contra del modelo newtoniano, no son equivalentes para la percepción humana. Ya desde la cuna los bebés muestran una preferencia atencional por los objetos en movimiento con respecto a los objetos inmóviles (Bower, 1974). Si nadie actúa sobre ellas, las cosas, en este mundo «*prima facie* no newtoniano» (DiSessa, 1982), tienden al reposo. En definitiva, la naturaleza de nuestra percepción y la experiencia cotidiana del movimiento hacen que la mecánica newtoniana sea fuertemente contraintuitiva. En un sentido más general puede afirmarse que la mayor parte de las teorías científicas que se enseñan en el aula son igualmente contraintuitivas, es decir, contrarias a nuestra experiencia cotidiana y a la forma

en que los humanos procesamos biológicamente la información. El problema de enseñar ciencias consiste, desde esta perspectiva, en la dificultad para hacer ver al alumno la forma en que las teorías científicas superan a sus intuiciones, integrándolas en un sistema conceptual más complejo, de la misma forma, por ejemplo, que el concepto de peso específico se apoya en la idea intuitiva de peso absoluto. Esta dificultad hace necesaria una reorientación en la forma de enseñar ciencias.

### Hacia una nueva forma de enseñar ciencias

Desde la perspectiva de las concepciones espontáneas enseñar ciencias consiste en conseguir que los alumnos sustituyan sus ideas intuitivas, pero firmemente arraigadas, sobre los fenómenos científicos por otros conceptos más avanzados y más próximos a las teorías científicamente admitidas. Ello significa que, sin poder renunciar por completo a la formación *metodológica* del alumno es necesario orientar esa enseñanza también hacia el fomento del *cambio conceptual*. En otras palabras, la insuficiencia del pensamiento formal para asegurar el dominio de los conceptos básicos de la ciencia hace necesario dirigir la enseñanza de la ciencia tanto a los aspectos inferenciales como a los conceptuales (véase, también, Carrascosa y Gil, 1985; Gil y Carrascosa, 1985), pudiendo recibir cada uno de estos aspectos un peso mayor o menor en función del desarrollo cognitivo del alumno y de criterios de secuenciación temática de los contenidos. En cualquier caso, para conseguir el avance conceptual de los alumnos es necesario conectar la ciencia con sus ideas intuitivas y con las experiencias cotidianas en las que éstas se basan, partiendo en todo momento de posiciones que reconozcan el carácter constructivo del aprendizaje (Carretero, 1985b; Pozo, 1987a).

Todo lo anterior supone en nuestra opinión un cambio apreciable con respecto a la estrategia didáctica basada en el desarrollo del pensamiento formal piagetiano. Aquí la ciencia ya no es un pretexto para el desarrollo de habilidades generales, sino que debe servir sobre todo para proporcionar al alumno núcleos conceptuales específicos que, de otra manera, por sí mismo nunca adquiriría. Espontáneamente, el alumno lo más que accede es a unas concepciones que se hallan bastante alejadas del conocimiento científico que se les intenta transmitir, y que de hecho obstaculizan seriamente su adquisición. Volviendo al título de este apartado general, en el que invertíamos el significado de la significativa pregunta de Fuller, Karplus y Lawson (1977), no parece que el razonamiento pueda desarrollar por sí mismo la ciencia. Sin duda, el pensamiento formal es una condición necesaria para aprender ciencia; pero no es suficiente. Si bien algunos autores (por ejemplo, Nussbaum y Novick, 1981) creen posible que los alumnos generen o «inventen» en contextos de instrucción adecuados los conceptos científicos básicos, en nuestra opinión tal «invención» es poco menos que imposible y sólo se producirá, en el mejor de los casos, en alumnos muy determinados (véase también a este respecto, Ausubel, Novak y Hanesian, 1978). Por ello creemos que para que se produzca el cambio conceptual es preciso que el alumno *reciba* aquellas teorías científicas que no sea capaz de descubrir por sí mismo.

Ahora bien, para que esa enseñanza receptiva sea eficaz ha de alejarse radicalmente de la vieja enseñanza repetitiva tradicional, manteniéndose dentro de posiciones constructivistas y acompañándose siem-

pre de ejercicios de descubrimiento y consolidación de los conceptos adquiridos (Poza, 1987a). Otero y Brincones (en este mismo número) realizan un intento muy ilustrativo de enseñanza expositivo/receptiva basada en las ideas de Ausubel. Igualmente, en el último de los artículos dedicados a este *tema monográfico*, se vuelve sobre este problema concreto, intentando indicar algunas de las condiciones psicológicas necesarias para que se produzca el cambio conceptual. Entre ellas está sin duda la adopción de una nueva perspectiva por parte de los profesores tanto en relación con la psicología de sus alumnos como con las estrategias que pueden adoptar para hacer más fácil la comprensión de la ciencia. Facilitar ambas cosas es el objetivo tanto de este artículo como de los que le siguen.

## Notas

<sup>1</sup> En cualquier caso, la idea general de llevar a cabo una enseñanza mucho más basada en el dominio de habilidades metodológicas que en la adquisición de conocimientos no es característica sólo de las ciencias fisiconaturales sino que se ha defendido también en otras áreas didácticas, como puede comprobar cualquier persona atenta consultando los documentos de las diversas Reformas en marcha actualmente en nuestro país, que, con notables excepciones, suelen defender una concepción de este tipo.

<sup>2</sup> No vamos a tratar en esta ocasión la problemática general que plantea la aplicación de las investigaciones piagetianas al ámbito educativo, ya que supondría ir más allá de los objetivos que nos hemos trazado. No obstante, quizás no esté de más señalar, por un lado, que muchos de los problemas que aquí se comentan en relación con las operaciones formales se han suscitado también con respecto a la enseñanza en las edades características de las operaciones concretas, y por otro lado, que tales discusiones se enmarcan en un debate más general que ha acabado por situar la aplicabilidad de la teoría piagetiana a la educación en una posición nada unívoca (por ejemplo, Nagy y Griffiths, 1982).

<sup>3</sup> Tal vez el calificativo de «espontáneas» no sea el más adecuado para estas concepciones, aunque haya tenido una notable aceptación en los últimos tiempos, ya que en puridad no puede decirse que haya nada plenamente espontáneo en el desarrollo cognitivo del sujeto, ya que éste siempre es producto de la interacción con su entorno y, en nuestro caso, muy especialmente con su entorno educativo. En cualquier caso, nos parece igualmente inadecuada la denominación de «preconceptos» ya que, como se recoge en este mismo artículo, esas ideas o representaciones constituyen los verdaderos conceptos con que los alumnos se enfrentan al aprendizaje de la ciencia.

## Resumen

*En los últimos años se han desarrollado dos concepciones distintas del alumno adolescente en relación con la enseñanza de la ciencia. Por un lado, se ha analizado a los alumnos en términos de su capacidad para el pensamiento formal y, por otro, se han descrito innumerables concepciones espontáneas desviadas que los alumnos adolescentes poseen con respecto a los fenómenos científicos. El presente artículo revisa y compara los fundamentos epistemológicos y psicológicos de ambos enfoques, además de revisar las implicaciones didácticas que se derivan de cada una de esas posiciones para la enseñanza de la ciencia.*

## Summary

*In recent years two different conceptions of the adolescent pupil are developed with regard to the science teaching. The first approach is concerned with the ability of adolescents to think at formal operational level, whereas the second approach has described a lot of spontaneous and usually erroneous conceptions made by the same adolescents in the understanding of scientific domains. This paper reviews critically the epistemological and psychological foundations of both approaches. Finally, the implications of those conceptions to the science teaching are discussed.*

## Résumé

Dans ces derniers ans il y a eu deux différentes conceptions du élève adolescent relatives à l'enseignement des sciences. Premièrement, on a analysé la capacité des adolescents pour raisonner suivant la pensée opérationnelle formelle de Piaget. D'un autre part on a décrit grand nombre de conceptions spontanées erronées qui caractérisent le connaissance scientifique des adolescents. Cet article revise et compare les deux approches, en s'arrêtant à l'étude de leurs bases épistemologiques et psychologiques. On étudie aussi les conséquences didactiques de tous les deux conceptions.

## Referencias

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D., y HANESIAN, H.: *Educational psychology. A cognitive view*. 2.ª ed. N. York: Holt, Rinehart & Winston, 1978. Trad. cast. de la 2.ª edición de M. Sandoval: *Psicología Educativa*. México: Trillas, 1983.
- BOWER, T. G. R.: *Development in infancy*. N. York: Freeman, 1974. Trad. cast. de M. Carretero y V. García-Hoz: *Desarrollo del niño pequeño*. Madrid: Debate, 1979.
- BULLOCK, M.; GELMAN, R., y BAILLARGEON, R.: «The development of causal reasoning», en W. J. Friedman (Ed.). *The developmental psychology of time*. Londres: Academic Press, 1982.
- CAREY, S.: *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1985.
- CARRASCOSA, J., y GIL, D.: «La 'metodología de la superficialidad' y el aprendizaje de las ciencias». *Enseñanza de las ciencias*, 1985, 3 (2), 113-120.
- CARRETERO, M.: «¿Por qué flotan las cosas? El desarrollo del pensamiento hipotético-deductivo y la enseñanza de las ciencias». *Infancia y Aprendizaje*, 1979, 8, 7-22.
- «Investigaciones sobre el pensamiento formal». *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1980 (a), 35, 1-28.
- «Desarrollo intelectual durante la adolescencia: competencia, actuación y diferencias individuales». *Infancia y Aprendizaje*, 1980 (b), 12, 81-98.
- «La teoría de Piaget y la psicología transcultural». *Monografías de Infancia y Aprendizaje*, 1981, 2, 187-198.
- «De la larga distancia que separa la suposición de la certeza», en M. Carretero y J. A. García Madruga (Eds.). *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- «El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: las operaciones formales», en M. Carretero; J. Palacios y A. Marchesi (Eds.). *Psicología Evolutiva. 3. Adolescencia, madurez y senectud*. Madrid: Alianza, 1985a.
- «Aprendizaje y desarrollo cognitivo: un ejemplo del tratado del inútil combate», en J. Mayor (Ed.). *Actividad humana y procesos cognitivos*. Madrid: Alhambra, 1985 (b).
- «Ideas espontáneas y desarrollo cognitivo en sujetos adultos». En preparación.
- CARRETERO, M., y GARCÍA MADRUGA, J. A. (Eds.): *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- CASTORINA, J. A., y PALAU, G. D.: *Introducción a la lógica operatoria de Piaget*. Buenos Aires: Paidós, 1981.
- CORRAL, A.: «La influencia del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo en la resolución de dos problemas de física». *Infancia y Aprendizaje*, 1982, 18, 107-123.
- CHI, M. T. H.; GLASER, R., y REES, E.: «Expertise in problem solving», en R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*. Vol. 2. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1982.
- D'AMOUR, G.: «Problem-solving strategies and the epistemology of sciences», en J. Lochhead y J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction*. Filadelfia: Franklin Institute Press, 1979.
- DRIVER, R.: «Pupils' alternative frameworks in science». *European Journal of Science Education*, 1981, 3 (1), 93-101.
- *The pupil as scientist?* Milton Keynes: Open University Press, 1983.
- DRIVER, R., y EASLEY, J.: «Pupils and paradigms: a review of related to concept development in adolescent science students». *Studies in Science Education*, 1978, 5, 61-84.
- DRIVER, R.; GUESNE, E., y TIBERGUIEN, A. (Eds.): *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, 1985.
- ERICKSON, G. L.: «Children's concepts of heat and temperature». *Science Education*, 1979, 63, 221-230. Press, 1985.
- ERICKSON, G. L.: «Children's concepts of heat and temperature». *Science Education*, 1979, 63, 221-230.
- FLAVELL, J. H.: *The developmental psychology of Jean Piaget*. Princeton: Van Nostrand, 1963. trad. cast. de M. T. Cevasco: *La psicología evolutiva de Jean Piaget*. Buenos Aires: Paidós, 1968.
- *Cognitive development*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1977. trad. y presentación de la edición en castellano de J. I. Pozo: *Desarrollo cognitivo*. Madrid: Visor, 1984.
- FREDETTE, N. H., y LOCHHEAD, J.: «Students conceptions of simple circuits». *The Physics Teacher*, 1980, 18, 194-198.

- FULLER, R. G.; KARPLUS, R., y LAWSON, E.: «Can physics develop reasoning?». *Physics Today*, 1977, 30 (2), 23-28.
- GENTNER, D., y STEVENS, A. L.: *Mental models*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1983.
- GIL, D.: «Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias». *Enseñanza de las ciencias*, 1983, 1 (1), 26-33.
- «La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas». *Enseñanza de las ciencias*, 1986, 4 (2), 111-121.
- GIL, D., y CARRASCOSA, J.: «Science learning as a conceptual and methodological change». *European Journal of Science Education*, 1985, 7 (3), 231-236.
- HELM, H., y NOVAK, J. S. (Eds.): *Proceedings of the International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. N. York: Cornell University, 1983.
- INHELDER, B., y PIAGET, J.: *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent. Essais sur la construction des structures opératoires formelles*. París: P.U.F., 1955. Trad. cast. de M. T. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.
- KARMILOFF-SMITH, A., e INHELDER, B.: «If you want to get ahead, get a theory». *Cognition*, 1975, 3, 195-212. Trad. cast. de J. I. Pozo, en *Infancia y Aprendizaje*, 1981, 13, 67-88.
- KEIL, F. C.: «Constraints on knowledge and cognitive development». *Psychological Review*, 1981, 88 (3), 197-227.
- KUHN, D.: «The application of Piaget's theory of cognitive development to education». *Harvard Educational Review*, 1979, 49 (3). Trad. cast. de P. del Río, en *Monografías de Infancia y Aprendizaje*, 1981, 2, 144-161.
- KUHN, T. S.: *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962. Trad. cast. de A. Contín: *La estructura de las revoluciones científicas*. México: F.C.E., 1971.
- LAKATOS, I.: *The methodology of scientific research programmes-philosophical papers*. Volume I (Ed. de J. Worall y G. Currie). Cambridge: Cambridge University Press, 1978. Trad. cast. de J. C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.
- LINN, M. C.: «Scientific reasoning: influences on task performance and response categorization». *Science Education*, 1977, 61, 357-369.
- MOUNOUD, P., y POWER, T. G. R.: «Conservation of weight in infants». *Cognition*, 1974, 3, 29-40. Trad. cast. de J. A. Delval, en J. A. Delval (Ed.), *Lecturas de psicología del niño*. Vol. 1. Madrid: Alianza, 1978.
- NAGY, P., y GRIFFITHS, A. K.: «Limitations of recent research relating Piaget's theory to adolescent thought». *Review of Educational Research*, 1982, 52 (4), 513-556.
- NEIMARK, E. D.: «Toward the disembedding of formal operations from confounding with cognitive style», en I. Sigel; D. Brodzinsky y R. Golinkoff (Eds.). *Piagetian theory and research: New directions and applications*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1979.
- «Adolescent thought: transition to formal operations», en B. Wolman (Ed.). *Handbook of developmental psychology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1982.
- NUSSBAUM, J., y NOVICK, S.: «Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study». *School Science Review*, 1981, 221, 771-778.
- OSBORNE, R., y FREYBERG, P.: *Learning in science*. Hong-Kong: Heinemann, 1985.
- OTERO, J., y BRINCONES, I.: «El aprendizaje significativo de la Segunda Ley de la termodinámica». *Infancia y Aprendizaje*, 1987, en este mismo número.
- PIAGET, J.: «Le mécanisme du développement et les lois du groupement des opérations. Esquisse d'une théorie opératoire de l'intelligence». *Archives de Psychologie*, 1941, 28, 215-285. *Archives de Psychologie*, 1941, 28, 215-285. Trad. cast. de J. A. Delval: *El mecanismo del desarrollo mental*. Madrid: Editora Nacional, 1976.
- «Piaget's theory», en P. H. Mussen (Ed.): *Carmichael's manual of child psychology*. N. York: Wiley, 1970 (a). Trad. cast. de M. Serigos, en *Monografía de Infancia y Aprendizaje*, 1981, 2, 13-54.
- «L'évolution intellectuelle entre l'adolescence et l'âge adulte». *Rapport sur le III Congrès International FONEME sur la formation humaine a l'âge adulte*. Milán: 1970 (b). Trad. cast. en parte de J. A. Delval, en J. A. Delval (Ed.). *Lecturas de psicología del niño*. Vol. 2. Madrid: Alianza, 1978.
- «Causalité et opérations», en J. Piaget y R. García. *Les explications causales*. París: P.U.F., 1971. trad. cast. de E. R. Póla: *Las explicaciones causales*. Barcelona: Barral, 1973.
- *Réussir et comprendre*. París: P.U.F., 1974.
- PIAGET, J., y GARCÍA, R.: *Psychogénèse et histoire des sciences*. París: P.U.F., 1981. Trad. cast. de P. Piñero: *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI, 1982.
- PIAGET, J., e INHELDER, B.: *Le développement des quantités chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé, 1941. Trad. cast. de G. Sastre: *El desarrollo de las cantidades en el niño*. Barcelona: Gedisa, 1983.
- POZO, J. I.: *Teorías y reglas de inferencia en la solución de problemas causales*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Autónoma de Madrid, 1985.
- *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor/Aprendizaje, 1987a.
- «Las explicaciones causales en Historia: una comparación entre expertos y novatos», en M. Carretero; J. I. Pozo y M. Asensio (Eds.). *La enseñanza de las ciencias sociales*. Madrid: Visor/Aprendizaje, 1987b.
- «La Historia se repite: las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad». *Infancia y Aprendizaje*, 1987, en este mismo número.

- POZO, J. I., y CARRETERO, M.: «Desarrollo cognitivo y aprendizaje escolar (durante la adolescencia)». *Cuadernos de Pedagogía*, 1986, 133, 15-19.
- POZO, J. I.; CARRETERO, M., y ASENSIO, M.: «Las relaciones aprendizaje/enseñanza en la enseñanza de la Historia», en M. Carretero; J. I. Pozo y M. Asensio (Eds.). *La enseñanza de las ciencias sociales*. Madrid: Visor/Aprendizaje, 1987.
- SEBASTIÁ, J. M.: «Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes». *Enseñanza de las ciencias*, 1984, 2 (3), 161-169.
- DISSA, A.: «Unlearning aristotelian physics: a study of knowledge-based learning». *Cognitive Science*, 1982, 6, 37-75.
- SHULTZ, T. R.: «Rules of causal attribution». *Monographs of the Society for the Research in Child Development*, 1982, 47 (1), completo.
- DE VEGA, M.: «Filogénesis, adaptación y sesgos biológicos del conocimiento: una alternativa a las analogías formales». *Boletín de Psicología*, 1982-1983, 1-2, 111-149.
- WEST, L. H. T., y PINES, A. L.: *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press, 1985.
- WHITAKER, R. J.: «Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion». *American Journal of Physics*, 1983, 51, 352-357.
- WISER, M., y CAREY, S.: «When heat and temperature were one», en D. Gentner y A. Stevens (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1983.