

Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas

JUAN IGNACIO POZO, MARIA DEL PUY PÉREZ, ANGELES SANZ
Y MARGARITA LIMÓN

Universidad Autónoma de Madrid



Resumen

Durante los últimos años, los trabajos sobre el aprendizaje de las ciencias han estado dominados por dos enfoques contrapuestos: la teoría piagetiana de las operaciones formales y el enfoque de las ideas previas o concepciones alternativas. Frente a estos dos enfoques los autores proponen una alternativa intermedia basada en el concepto de «teorías implícitas». Estas teorías serían teorías personales que, como las teorías científicas, sirven para organizar y predecir el mundo circundante. No obstante, presentan también características muy diferentes de las teorías científicas tanto en lo referente a su contenido como a su organización. Estas diferentes características tienen, como se expone en el artículo, importantes consecuencias tanto para la investigación como para la práctica educativa.

Palabras clave: *Concepciones alternativas, Pensamiento formal, teorías implícitas, Cambio conceptual, Aprendizaje de la ciencia.*

Students' ideas about science as implicit theories

Abstract

During the last two decades research in science learning has been dominated by two different theoretical perspectives: Piagetian theory of formal operations, and the alternative conceptions approach. This paper proposes an intermediate option based on the concept of «implicit theories». These theories would be personal constructions, useful for organizing and predicting the world around us. However, although their function is similar, implicit and scientific theories are different in many significant features. The main differences relate to the kind of knowledge they are composed of, its organization, and the way they are represented. This paper analyzes the characteristics of implicit theories within the context of science learning.

Key words: *Alternative conceptions, Formal operational thought, Implicit theories, conceptual change, Science learning.*

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la concesión de una Ayuda a la Investigación Educativa por parte del CIDE a un Proyecto de Investigación dirigido por el primer autor. En dicho Proyecto ha colaborado también Miguel Ángel Gómez, que a algunos de nosotros nos ha enseñado lo que sabemos sobre la química, la física y otras extrañas costumbres de la naturaleza.

Dirección del autor: Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Psicología. Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología. Campus de Cantoblanco. 28049 Madrid.

Original recibido: agosto 1991. **Revisión recibida:** noviembre 1991. **Aceptado:** noviembre 1991.

LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA CIENCIA: DEL PENSAMIENTO FORMAL A LAS «CONCEPCIONES ALTERNATIVAS»

Una de las ideas centrales de la investigación reciente sobre el aprendizaje en contextos educativos e instruccionales es sin duda la importancia de los conocimientos previos de la persona que aprende y su influencia tanto sobre los resultados del aprendizaje como sobre los procesos de instrucción mediante los que éste debe ser promovido. Este principio ha dado lugar a una gran cantidad de investigaciones sobre los conocimientos e ideas previas de los alumnos en muy diversas materias y contextos de instrucción. De entre esas áreas, una de las más estudiadas ha sido sin duda el conocimiento previo de niños, adolescentes y adultos sobre los hechos y conceptos científicos, abordada tanto desde una perspectiva evolutiva a partir de la obra de Inhelder y Piaget (1955; por ej., Shayer y Adey, 1981), como desde planteamientos claramente educativos (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Giordan y de Vecchi, 1987; Osborne y Freyberg, 1985), o también desde el punto de vista de las comparaciones entre los adultos expertos y novatos en un área científica (por ej., Chi, Glaser y Rees, 1982; Pozo y Carretero, en prensa) o de los conocimientos intuitivos o espontáneos de las personas profanas con respecto a algunas áreas de la ciencia (por ej., Furnham, 1988).

Aunque la gran proliferación de investigaciones y la diversidad de planteamientos teóricos y metodológicos en las que se basan hacen difícil una clasificación simple de las mismas, en las últimas décadas han existido dos enfoques dominantes en el estudio de las concepciones previas de las personas —esencialmente alumnos en edad escolar— con respecto a la ciencia (Pozo y Carretero, 1987). Esos enfoques serían la teoría piagetiana de las *operaciones formales* (Inhelder y Piaget, 1955; Shayer y Adey, 1981) y el más reciente enfoque de las *ideas previas* o concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos científicos (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Hierrezuelo y Moreno, 1988). Aunque ambos enfoques coinciden en algunos supuestos básicos (constructivismo, aprendizaje a partir de los conocimientos previos, etc.), difieren en otra serie de supuestos igualmente importantes tanto desde el punto de vista psicológico como educativo.

Dejando al margen otras diferencias (véase, de forma más extensa, Pozo y Carretero, 1987; Pozo, Gómez Crespo, Limón y Sanz, en prensa), ambas tradiciones de investigación, aun compartiendo una visión constructivista del conocimiento y de su adquisición, difieren sustancialmente en sus presupuestos con respecto a la forma en que están organizados los conocimientos en la mente de los alumnos. Mientras Piaget, fiel a su concepción estructuralista, suponía que las ideas o conceptos construidos por los adolescentes dependen de estructuras lógicas más generales, que producen un grado notable de homogeneidad en las ideas mantenidas por los alumnos en diversos dominios o situaciones, el enfoque de las concepciones previas alternativas es bastante más elusivo al respecto, pero su propia tradición investigadora muestra que se parte del supuesto de que se trata de ideas aisladas o escasamente conectadas entre sí. Estas dos maneras enfrentadas de

entender la construcción y organización de los conocimientos científicos dan lugar a otras muchas diferencias, resumidas en la tabla I.

Según Piaget el progreso en el conocimiento científico es esencialmente *estructural*. Las representaciones y las acciones de las personas en relación con los fenómenos científicos estarían determinadas por ciertas estructuras lógicas generales cuyo desarrollo haría posible niveles más complejos de pensamiento científico. Esos cambios estructurales darían lugar a la aparición de diversos estadios, caracterizados por la realización de operaciones cognitivas cualitativamente distintas. El cambio estructural sería por tanto general, es decir ajeno a los contenidos específicos de dominio, especialmente tras el acceso a las llamadas operaciones formales (Inhelder y Piaget, 1955). El modelo estructural piagetiano prevé también un uso relativamente homogéneo de las operaciones formales con independencia del contenido al que se apliquen (véase Carretero, 1985) y estaría generalmente más interesado en el funcionamiento de procesos generales de pensamiento científico (e.g., combinatoria, control de variables, razonamiento proporcional, etc.), que en la comprensión de nociones o conceptos científicos específicos¹. En último extremo, la enseñanza de la ciencia debería estar dirigida a promover esos cambios generales en el razonamiento en vez de concentrarse en proporcionar conceptos específicos. Como indicaban Fuller, Karplus y Lawson (1977) se trataría de que la enseñanza de la ciencia fomentara el cambio estructural, facilitando el acceso al estadio de las operaciones formales.

En cambio, los estudios más recientes basados en el enfoque de las «concepciones alternativas»² tienen una orientación esencialmente *conceptual*. En lugar de las estructuras generales de Piaget se centran en la comprensión de nociones científicas específicas, observando que los alumnos poseen sus propios conceptos —previos a la instrucción— sobre los fenómenos científicos. Estos conceptos intuitivos suelen ser contrarios a la ciencia que se pretende enseñar a los alumnos, siendo además muy resistentes al cambio (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985). De esta forma, este enfoque se centra en la adquisición de unidades específicas de conocimiento. Como consecuencia, propone un sujeto cognitivamente heterogéneo, de forma que se desconocen las relaciones entre la física, la química o la historia intuitiva de un mismo alumno. Aun cuando se postula la existencia

TABLA I

Principales diferencias entre los enfoques estructural y conceptual para el aprendizaje de la ciencia

Enfoque	Se orienta hacia	Pone énfasis en	Promueve el cambio en
ESTRUCTURAL (piagetiano)	Estructuras de conocimientos generales.	Mente homogénea.	Estructuras cognitivas a través de estadios.
CONCEPTUAL (concepciones alternativas)	Unidades de conocimiento específicas (ideas).	Mente heterogénea.	Conocimientos específicos, ideas a menudo aisladas.

de algún tipo de estructuras conceptuales (por ej., Novak y Gowin, 1984), las investigaciones basadas en este enfoque no pueden siquiera predecir el rendimiento de un mismo alumno ante tareas correspondientes a un mismo dominio de conocimiento (Driver y Oldham, 1986). Por ello los modelos de enseñanza se orientan a promover el cambio conceptual en áreas o dominios específicos de conocimiento (Hashweh, 1986; West y Pines, 1985) en lugar de buscar cambios estructurales generales.

Recientemente, a partir de estas dos posiciones enfrentadas se está empezando a abrir paso una interpretación o propuesta intermedia, que intenta encontrar un compromiso entre ambas. Los escasos datos empíricos disponibles con respecto a la homogeneidad/heterogeneidad de los conocimientos científicos de los alumnos realizados desde la perspectiva del pensamiento formal no han podido corroborar que éste constituya la estructura de conjunto predicha por Piaget. Pero si los conocimientos científicos de los alumnos no se comportan como Fuenteovejuna, todos a una, tampoco son totalmente dispersos o inconexos. Esos mismos estudios han venido a mostrar que aunque la noción de estadio piagetiano sea hoy poco defendible existe en cambio una cierta coherencia en las ideas y habilidades científicas de los adolescentes (por ej., Demetriou, Efklides y Gustafsson, en prensa; Lawson, 1985; López Rupérez y Palacios, 1988; Shayer y Adey, 1981).

Este nivel de coherencia en las ideas de los alumnos, aunque insuficiente para mantener la idea de los estadios, es sin embargo suficiente para requerir un análisis teórico y experimental más estructurado del que vienen realizando los estudios sobre las concepciones alternativas. En general, estos estudios se caracterizan por su carácter descriptivo y porque su metodología —basada en la aplicación de una o unas pocas tareas a grupos o clases de alumnos, sin apenas control experimental— no permite el análisis sino en términos de ideas aisladas (Pozo *et al.*, en prensa). Sin embargo, los escasos estudios que han analizado la coherencia de las ideas de los alumnos en un dominio dado, sea físico (por ej., Engel Clough y Driver, 1986; Oliva y Rosado, 1990; Pozo, 1987) o biológico (Arnay, 1988; Jiménez Aleixandre, 1990), han encontrado niveles variables, pero significativos, de relación entre las ideas de los alumnos dentro de un mismo dominio.

El estudio de estas relaciones y sus implicaciones para la investigación requiere no sólo una nueva metodología —basada tanto en el análisis correlacional y factorial como en el tratamiento experimental mediante manipulación de variables independientes— sino también nuevos planteamientos teóricos que se alejan tanto de la supuesta uniformidad de las ideas derivada de la teoría piagetiana como de la dispersión y la falta de coherencia derivada de su estudio como concepciones alternativas. Ese nuevo enfoque teórico parece reclamar un nivel intermedio de especificidad/generalidad, ya que, como señala Case (en prensa), *«ofrece una posible solución al conflicto entre las teorías de sistema general y las teorías modulares (o de conocimientos específicos) de la era pospiagetiana. La conclusión que extraemos es que podemos correr el peligro de «tirar el bebé con el agua» si abandonamos la clásica posición estructuralista por completo»*. Para evitar arrojar el bebé con el agua, Case propone analizar la comprensión de los alumnos y el propio desarrollo cognitivo en términos de *estructuras conceptuales ge-*

nerales, de un nivel de generalidad intermedio a las estructuras piagetianas y a los conceptos específicos.

Una posición similar está siendo defendida por otros autores, quienes proponen estudiar los conocimientos e ideas previas de las personas en diversos dominios como si éstas constituyeran «miniteorías» o «teorías personales» (Claxton, 1984) en esas áreas. Esas teorías —cuya denominación más común es la de *teorías implícitas*— tendrían características representacionales y de aprendizaje que les diferenciarían tanto de las estructuras lógicas como de los conceptos específicos, lo que justificaría la adopción de un nuevo enfoque en la investigación sobre el aprendizaje y la instrucción científica.

EL ENFOQUE DE LAS TEORIAS IMPLICITAS

En los últimos años diversos autores y desde perspectivas distintas han venido manteniendo que las personas utilizamos ciertas *teorías personales*, generalmente implícitas y de sentido común, para interpretar lo que sucede a nuestro alrededor, sea el aprendizaje de los alumnos (Johnson, 1987), la caída de los graves (Pozo, 1987), la crianza de los hijos (Triana y Rodrigo, 1985), los testimonios judiciales (Mira y Diges, 1990), la desgravación fiscal y el paro (Furnham, 1988) o el equilibrio de unos bloques sobre un pivote (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975). Estas teorías parecen ser características de los sujetos profanos o novatos en un área y difieren de las teorías mantenidas por los expertos —que en el caso de la ciencia serían las teorías científicas— no sólo en su contenido factual sino también en su organización y en su propia naturaleza. De esta forma tanto el desarrollo cognitivo (por ej., Carey, 1985, 1988) como el aprendizaje científico (Pozo, 1987, 1989) o profesional (Calderhead, 1987) pueden concebirse al menos en parte como un proceso de cambio de las teorías personales implícitas por otras teorías explícitas y científicas.

Existen ya unas cuantas fuentes en las que se analizan las diferencias entre uno y otro tipo de teorías (por ej., Claxton, 1984; Furnham, 1988; Pérez Echeverría, 1989; Pozo y Carretero, 1987; Rodrigo, 1985). Aunque la relación entre ambos tipos de teorías sería más la de un continuo que la de una dicotomía —constituyendo el paso de novato a experto un viaje a través de esa dimensión— a efectos expositivos mantendremos que se trata de dos tipos de teorías diferenciadas, si bien en la práctica pueden coexistir en un mismo sujeto o pueden existir teorías que compartan rasgos de ambas, dependiendo del nivel de pericia o *expertise* de la persona que las sostenga.

Antes de comenzar con las diferencias entre las teorías implícitas y las teorías científicas, parece conveniente resaltar sus similitudes, ya que ello justifica el uso del término «teoría» en este contexto. Según Rodrigo (1985, pp. 146-147) *«tanto las teorías científicas como las intuitivas están constituidas por un conjunto de conceptos y de eslabones que establecen relaciones entre éstos. Asimismo, ambas comparten funciones interpretativas; una vez reunidos los datos se elaboran explicaciones causales basadas en los postulados teóricos; o bien permiten establecer predicciones sobre sucesos futuros; por último incluyen "rutinas operativas" sobre el modo correcto de actuar»*. Ambos tipos de teorías comparten por tanto el carácter de estructuras con-

ceptuales organizadas con una finalidad tanto predictiva como explicativa. Se justifica el hablar de teorías implícitas en los alumnos en la medida en que sus concepciones estén organizadas de determinadas formas y se hagan efectivas para dirigir la acción.

Aunque tanto las teorías personales como las científicas estarían compuestas por conceptos organizados jerárquicamente, existirían algunas diferencias significativas entre los conceptos científicos y los conceptos personales. Mientras los conceptos científicos atienden a la estructura lógica de una clase —de forma que constituyen una definición precisa y constante para una clase de objetos con independencia de otros parámetros— los conceptos personales, o «naturales» según la terminología al uso en psicología cognitiva, tienden a ser conceptos vagos y difusos, cuyo significado no siempre es el mismo (Rosch, 1978; Scholnick, 1983). En otras palabras, los conceptos científicos establecen ciertos rasgos necesarios y suficientes para la categorización de un objeto como, pongamos por caso, un mamífero o un ser vivo. En cambio, las categorías naturales que las personas formamos a través de nuestra actividad espontánea y de la instrucción informal están formadas por objetos que según la expresión de Wittgenstein (1953), comparten entre sí un cierto «parecido familiar», de tal forma que no es posible encontrar ningún rasgo esencial común a los objetos que pertenecen a la mayor parte de nuestras categorías cotidianas (¿qué tienen en común y al mismo tiempo de característico, por ejemplo, todas las mesas, todos los muebles o todas las plantas?) Con su característico estilo metafórico, ya Vygotski (1934) se refería a estas categorías naturales —o pseudoconceptos— como un «*pensamiento mediante apellidos*», que establece un cierto parecido familiar entre las cosas pero no define ningún rasgo esencial del concepto. Las ideas científicas de los alumnos, organizadas en forma de teorías implícitas, no serían por tanto de la misma naturaleza conceptual que las ideas de los científicos. Diversos autores (por ej., Llorens, en prensa) han subrayado la inestabilidad del significado de las concepciones alternativas de un contexto a otro. Para el alumno, a diferencia de lo que sucede para el científico, los términos energía, fuerza o velocidad tienen un significado impreciso y variable, que no son capaces de definir, de la misma forma que para todos nosotros, los términos mesa, armario, mueble o juego —por no decir otros como libertad, igualdad o fraternidad— son casi imposibles de definir, aunque de una manera aproximada seamos capaces de aplicarlos a muy diversas situaciones.

Además de poseer rasgos similares a las categorías naturales (Rodrigo, 1985), las teorías personales tienen en muchos casos un carácter implícito, en vez de explícito. Constituirían regularidades subyacentes a la acción en lugar de conocimientos explícitos que los sujetos pueden verbalizar con facilidad. Esta naturaleza *implícita* de las teorías personales, sobre la que volveremos más adelante, es coherente con una de las tendencias más destacadas en las teorías recientes sobre la representación en psicología cognitiva. Según estas concepciones recientes, nuestro conocimiento sobre el mundo no estaría constituido tanto por representaciones explícitas y estables en forma de esquemas o prototipos (Rumelhart y Norman, 1981; Rosch, 1978) como por unidades de información, implícitas o distribuidas que se activarían situacionalmente, constituyendo «modelos mentales» (por ej., Holland, Holyoak, Nisbett y Thagard, 1986; Johnson-Laird, 1983, 1988; también las

recientes elaboraciones conexionistas de Rumelhart, McClelland y el grupo PDP, 1986) o «categorías *ad hoc*» (Barsalou, 1987). Estas teorías sitúan en un lugar preferente los factores o variables contextuales que determinan la activación de una u otra representación en un momento dado (por ej., Holland *et al.*, 1986; Rumelhart, McClelland y PDP, 1986). De acuerdo con estos modelos, no se trataría tanto de investigar qué concepción tienen los alumnos sobre un fenómeno determinado cuanto de analizar cuál de sus representaciones implícitas activarán ante una tarea y qué variables determinan esa activación.

De esta forma, el paso de las concepciones alternativas a los conceptos científicos no supone sólo el cambio del contenido factual de los conceptos, sino también de la forma de conceptualizar (Pozo, 1989). Según Vygotski (1934; Davydov, 1972) este paso sería posible sólo gracias a la instrucción, que proporcionaría no sólo nuevos conceptos sino una nueva forma de entender el mundo, apoyada en la toma de conciencia de la propia actividad mental.

DIFERENCIAS ENTRE LAS TEORIAS IMPLICITAS Y LAS TEORIAS CIENTIFICAS

Estas características representacionales y de aprendizaje de las teorías implícitas mantenidas por las personas profanas o novatas en un dominio pueden completarse comparándolas de modo explícito con las teorías científicas existentes en ese mismo dominio. La tabla II resume, sin ánimo de exhaustividad, algunas de esas diferencias. La contraposición entre las teorías personales y las teorías científicas nos permitirá extraer algunos de los rasgos más característicos de las ideas científicas de los alumnos, entendidas como una parte componente de sus teorías implícitas.

Las características antes mencionadas están estrechamente conectadas con otros rasgos en los que las teorías personales o implícitas difieren de las teorías científicas. Así, diversos autores (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Furnham, 1988) han subrayado que, frente a la búsqueda de coherencia por parte de los científicos, las ideas de los alumnos son aparentemente incoherentes, variando su significado de una situación a otra y de una tarea a la siguiente. Aunque, ante la escasez de investigaciones, el

TABLA II

Algunas diferencias entre las teorías personales y las teorías científicas

Teorías personales	Teorías científicas
a) Son implícitas.	a) Son explícitas.
b) Son incoherentes.	b) Son coherentes.
c) Son específicas.	c) Son generales.
d) Son inductivas (verifican).	d) Son deductivas (falsan).
e) Se basan en una causalidad lineal y simple.	e) Se basan en una causalidad múltiple y compleja.
f) Buscan la utilidad.	f) Buscan la «verdad».

nivel de coherencia de las ideas sobre la ciencia está aún por determinar, sí parece cierto que el propio carácter difuso o «probabilístico» de las categorías naturales hace que éstas aparezcan, a ojos de un observador externo, como incoherentes. Según Furnham (1988) las ideas que componen las teorías implícitas son tanto incoherentes —en el sentido de que no se aplican por igual en diversas situaciones— como inconsistentes —ya que en ocasiones diversas ideas que componen una misma teoría son incompatibles entre sí.

Esta falta de consistencia o coherencia de las teorías implícitas se deriva de su propia naturaleza, de 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 incomunicables, en el sentido de que están constituidas por presuposiciones de carácter general (Richardson, 1987) sobre relaciones causales, pero sin que el sujeto que las utiliza sea consciente de esas presuposiciones. Las teorías implícitas suelen subyacer a la acción, manifestándose sólo a través de ella y resultando en muchos casos incomunicables. Ello plantea un serio reto metodológico a los investigadores, ya que no basta con preguntar a un sujeto sobre un tema para conocer sus teorías implícitas, dado que es muy probable que el propio sujeto las ignore. Cuando las personas hablan y especulan sobre lo social nos comunican su ideología, que no necesariamente coincide con las representaciones implícitas que organizan su acción (Ibáñez, 1988). Un maestro que nos habla sobre su forma de dar clase o un paciente que expone a un psicólogo sus problemas y angustias pueden ignorar sus «verdaderas» representaciones implícitas a su acción. Como señalaban Nisbett y Wilson (1977) en un célebre artículo sobre el uso experimental de la introspección, los sujetos a veces dicen más de lo que saben y en otras ocasiones menos. Ello comporta dificultades metodológicas que no siempre se tienen en cuenta en los estudios sobre las concepciones alternativas de los alumnos sobre la ciencia, en los que se le suele conceder la misma fiabilidad a datos procedentes de fuentes claramente distintas.

Además, este carácter implícito de las teorías de los alumnos conecta con la necesidad antes expresada de fomentar la toma de conciencia con respecto a sus propias ideas como uno de los requisitos del llamado «cambio conceptual». La frase de Vygotski según la cual «*la conciencia es contacto social con uno mismo*» cobra aquí todo su significado. 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. Dado que, como el personaje de Molière, todos nosotros hablamos en prosa sin saberlo, sólo un desarrollo del metaconocimiento —o conocimiento sobre los propios conocimientos— permitirá al alumno controlar esos procesos que normalmente se activan de modo automático.

Junto a las características que venimos señalando, existe otra importante diferencia entre las teorías personales y las teorías científicas. Si, como

señalaba Rodrigo (1985) en la frase antes citada, ambas están compuestas por conceptos organizados entre sí, el tipo de organización que adoptan en cada caso parece diferir. Los estudios que comparan la organización conceptual de expertos y novatos en un determinado área, sea de ciencias físico-naturales (por ej., Chi, Glaser y Rees, 1982; Pozo y Carretero, en prensa) o de ciencias sociales (por ej., Pozo y Carretero, 1989; Voss, 1986; Voss y Post, 1988) muestran que difiere significativamente. Según estos estudios, los novatos suelen tener un conocimiento con escasa organización jerárquica, mientras que los expertos subordinan todas sus ideas a unas pocas leyes o principios generales. Además, las ideas más elevadas dentro de la teoría del novato suelen ser ideas subordinadas en la teoría científica mantenida por el experto. Ello conduce a que las teorías implícitas estén con cierta frecuencia compuestas de ideas poco conectadas entre sí. En palabras de Flavell (1985, p. 89), *«en la red conceptual almacenada por el experto hay múltiples rutas de cada uno de los conceptos a los demás; podemos decir que cada concepto tiene en el diccionario mental del experto múltiples referencias cruzadas. Esta mayor densidad de conexiones entre conceptos... significa a su vez que la probabilidad de que cualquier concepto dado evoque otros conceptos relacionados es mayor»*.

Una vez más, el conocimiento experto se caracteriza por una mayor reflexión y autoconocimiento. 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 perfeccionar sus conocimientos. Esta es otra diferencia entre las teorías personales y las teorías científicas. 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. Las personas 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. De hecho, cuando se investigan las teorías implícitas de la gente sobre el movimiento de los objetos y la gravedad (por ej., Pozo, 1987) se descubre que éstas son científicamente incorrectas. Esta paradoja aparente se resuelve cuando pensamos que 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) está una vez más conectada con el carácter implícito o explícito de las representaciones componentes. Cuando una madre premia o castiga a su hijo de acuerdo con lo que podríamos llamar su teoría implícita del refuerzo, no le interesa si esa teoría es cierta o no; lo único que pretende es conseguir tener éxito en su aplicación a una situación concreta. En cambio, el psicólogo conductista que investiga los efectos del castigo pretende descubrir leyes o principios generales de la conducta que puedan aplicarse más allá de contextos específicos. Otro tanto sucede con el alumno que está aprendiendo ciencias. Sus teorías personales tienen un aquí y ahora, se refieren a hechos concretos; las leyes científicas que se les pretenden enseñar son no sólo posibles —en vez de reales— sino además necesarias. Utilizando una distinción piagetiana central a su teoría funcional de la equilibración (Piaget, 1974; también Moreno, 1989; Pozo, 1989), las teorías impli-

citaciones buscan el éxito mientras que las teorías científicas intentan comprender.

Esta distinta orientación —hacia fuera en las teorías personales y hacia dentro en las científicas— ya fue subrayada por Vygotski (1934) y constituye uno de los rasgos más importantes que hay que tener en cuenta para fomentar el aprendizaje significativo o por reestructuración necesario para la comprensión de la ciencia (Pozo, 1989). Además, se conecta con otra importante diferencia. Según Furnham (1988; también Pérez Echeverría, 1989), las teorías científicas son deductivas y falsacionistas mientras que las teorías personales son inductivas y verificacionistas. Aunque esta diferencia no sea, una vez más, dicotómica, dada la resistencia a la falsación existente en la propia labor científica (Kuhn, 1971; Lakatos, 1978), puede mantenerse como una tendencia. Dado el distinto objeto 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. Como ha mostrado Carretero (1984) los adolescentes que encuentran un dato contrario a sus teorías recurren a veces a la idea popular según la cual «la excepción confirma la regla», manteniendo intacta su teoría a pesar de los datos contrarios. En cambio, los científicos, aun cuando conserven sus teorías a pesar de acumular datos contrarios, deben recurrir al «cinturón protector» incorporando ideas a su heurística positiva para dar cuenta de los datos contrarios (Lakatos, 1978). Dado que estos cambios introducidos en el cinturón protector de las teorías son posiblemente una condición necesaria para la posterior reestructuración de las teorías (Pozo, 1989), las contradicciones empíricas tienen un mayor efecto sobre las teorías científicas, más sensibles a ellas, que sobre las teorías personales.

Pero además de todas las diferencias reseñadas, que no agotan las posibles, las elaboraciones teóricas de los científicos difieren de las teorías implícitas personales en la complejidad de los conceptos y leyes enunciadas. Esta ha sido de hecho la principal vía de comparación entre las concepciones alternativas y los conceptos científicos: la diferencia en su contenido factual, que en el mejor de los casos se ha apoyado en un análisis comparativo con la Historia de la Ciencia que recupera el viejo esfuerzo piagetiano por construir una Epistemología Genética. De hecho, a pesar de las importantes diferencias existentes entre la construcción del conocimiento científico por parte de los alumnos y de los científicos (por ej., Strauss, 1988), la Historia y la Epistemología de la Ciencia proporciona numerosas sugerencias para el análisis no sólo de las teorías implícitas de los alumnos sino también de su transformación progresiva en teorías científicas. Sin embargo, el recurso a la Historia sólo puede hacerse desde la perspectiva de cada una de las disciplinas científicas analizadas, por lo que, si analizamos el contenido de sus teorías implícitas tomando como único criterio la historia de la disciplina correspondiente, volvemos a la fragmentación de los conocimientos propia del enfoque de las concepciones alternativas. Es importante por tanto buscar criterios generales que diferencien el contenido factual de las teorías personales sobre la ciencia del de las teorías científicas.

RESTRICCIONES ESTRUCTURALES EN LAS TEORIAS IMPLICITAS: ¿LA VUELTA A LOS ESQUEMAS OPERATORIOS FORMALES?

Uno de los criterios más directos para buscar regularidades o rasgos característicos del contenido de las teorías implícitas sobre la ciencia es analizar el origen de dichas teorías, es decir, los procesos psicológicos que intervienen en su adquisición y elaboración. La naturaleza descriptiva de la mayor parte de las investigaciones sobre las ideas de los alumnos sobre la ciencia hace difícil el uso de este criterio. Sin embargo, pueden identificarse algunos rasgos debidos al origen sensorial, social o analógico de algunas de las ideas que la gente mantiene sobre los fenómenos científicos (Pozo, Sanz, Gómez Crespo y Limón, 1991). Junto con la influencia del medio social y cultural, las reglas de inferencia causal utilizadas por los sujetos parecen determinar en buena medida el contenido de sus teorías implícitas (Anderson, 1986; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Pozo, 1987).

Pero además de esa influencia de los procesos cognitivos implicados en la adquisición y construcción de las teorías implícitas, desde nuestro punto de vista pueden identificarse ciertos rasgos *estructurales* 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: los esquemas operativos formales.

En el último capítulo de su libro, 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, definido por los rasgos estructurales y funcionales antes mencionados. A pesar de la importancia que estos esquemas tienen en la teoría piagetiana y de su potencial relevancia didáctica, han sufrido, como señala Carretero (1985) un injusto y a veces incomprensible olvido en los estudios posteriores de réplica o aplicación de la teoría piagetiana. Ni siquiera los intentos de conectar el pensamiento formal con la comprensión de la ciencia suelen apoyarse en este concepto (por ej., Herron 1975; Lawson, 1985; Shayer y Adey, 1981).

Sin embargo, según Inhelder y Piaget (1955, p. 259 de la trad. cast.), estos esquemas serían *«las nociones que el sujeto puede construir a partir del nivel formal, cuando se encuentra ante ciertos datos, pero cuya adquisición no manifiesta fuera de estas condiciones»*. 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. Entre sus características definitorias se hallarían (*ob. cit.*, p. 260):

- a) Tener un nivel de generalidad o inclusión intermedio entre las características generales antes enunciadas y las nociones específicas.
- b) Hallarse más en la mente de las personas que en los objetos. Es de-

cir, serían esquemas o modelos que las personas aplicamos a la realidad para interpretarla o asimilarla. Este es un rasgo que Piaget (1971) atribuye también al pensamiento causal por oposición al lógico.

Aun cuando pueda discutirse, en relación con los esquemas operatorios formales enunciados por Inhelder y Piaget (1955), si son todos los que están y, más aún, si están todos los que son³, un análisis del contenido de las teorías implícitas de los alumnos en diversos dominios científicos, muestra que en muchos casos estas se caracterizan por la dificultad de superar algunas dificultades conceptuales que requerirían el uso de alguno o algunos esquemas operatorios formales, similares a los formulados por Piaget, cuando no idénticos. Por ello, puede tener un cierto valor heurístico estudiar si en el paso de sus teorías personales implícitas a las teorías científicas los alumnos deben aprender a utilizar ciertos esquemas generales en el análisis de las relaciones causales, sin los cuales la teoría científica no podrá ser correctamente comprendida (Pozo *et al.*, en prensa). Estos esquemas tienen una cierta generalidad, si bien, como los propios Inhelder y Piaget (1955) apuntaban, probablemente los sujetos deban aprender a aplicarlos en cada nuevo dominio. Sin ánimo de agotar los posibles esquemas, y a modo tentativo, la tabla III presenta, a partir de Inhelder y Piaget (1955), tres características de las concepciones alternativas usualmente identificadas en los alumnos, que se contraponen al uso de los esquemas operatorios formales. Dicho de otra manera, el alumno persistirá en su concepción alternativa a menos que logre analizar la tarea mediante un esquema de relación causal 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.

Causalidad lineal vs. interacción de sistemas

En primer lugar, como ya ha señalado Andersson (1986) 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

TABLA III

Esquemas formales presentes en las teorías científicas y restricciones estructurales opuestas a ellas

Restricciones estructurales (teorías implícitas)	Esquemas formales (teorías científicas)
Causalidad lineal y simple en un solo sentido (agente → objeto).	Coordinación de sistemas de referencia. Compensación multiplicativa.
No cuantificación o estrategias de cuantificación erróneas.	Proporción. Probabilidad. Correlación.
Transformación sin conservación.	Conservaciones no observables. Sistemas de equilibrio.

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. Así, una reacción química —como la oxidación o la combustión— sólo puede entenderse como una interacción entre sistemas y no como una simple relación lineal en que una causa —por ej., el oxígeno en la oxidación— actúa sobre una sustancia, que es como la entienden los alumnos (Andersson, 1986). Igualmente la interpretación de un circuito eléctrico no puede ser secuencial sino que debe implicar la interacción entre sistemas (energía/resistencias) (por ej., Acevedo, 1990).

— La relación implica no sólo una causa sino la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado. Así, el volumen de un gas dependerá de la relación entre presión y temperatura, la inflación es un hecho causado por la interacción de numerosas causas y no sólo de un factor aislado como creen muchas personas, adultos incluidos (Furnham, 1988). La tendencia a simplificar las situaciones, un rasgo usual en nuestro pensamiento cotidiano, dificulta el tener en cuenta la interacción entre variables. 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 (por ej., peso y distancia en el equilibrio de una balanza). Estas compensaciones adoptan la forma habitual de una proporción inversa, implicando por tanto el uso de un esquema cuantitativo, característico del pensamiento formal.

Relaciones cualitativas vs. esquemas de cuantificación

En nuestra vida cotidiana tendemos a establecer relaciones cualitativas entre los hechos (por ejemplo, los días que amanecen grises suelen acabar con lluvia) que escasamente somos capaces de cuantificar (¿cuál es la probabilidad de que esos días llueva?) Sin embargo, la ciencia se caracteriza por el uso de operaciones cuantitativas precisas, que determinan no sólo si existe una relación entre los hechos sino también en qué cantidad existe. Esta necesidad de cuantificar —que se manifiesta ya en el uso de operaciones de medida características del período operacional concreto— 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, 1990):

— 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. Desde conceptos como velocidad o densidad a otros más complejos como las leyes newtonianas o casi todas las leyes ponderales de la Química, por no decir la Economía, la Estadística y la Ingeniería, es difícil hallar un dominio científico que no requiera el uso de leyes proporcionales. Sin embargo, las investigaciones muestran que ante tareas que requieren un cálculo proporcional los alumnos, universitarios in-

cluidos, tienden a utilizar estrategias simplificadoras, que se basan en análisis cualitativos o en reglas más simples, como la regla aditiva o las correspondencias (véase Pérez Echeverría, 1990; Pérez Echeverría, Carretero y Pozo, 1986; Sanz, 1991).

— La probabilidad: aunque la mayor parte de la ciencia que se les enseña a los alumnos no corresponde a la ciencia del siglo XX y por tanto es más bien determinística, existen numerosas nociones científicas que requieren la comprensión de la probabilidad y el azar. La teoría cinética de los gases, los conceptos de mutación genética o toda la genética de poblaciones difícilmente pueden entenderse sin comprender lo que es el azar y sin ser capaz de calcular probabilidades. 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 adultos (por ej., Pérez Echeverría, 1990; Tversky y Kahneman, 1974; Vázquez, 1985). Desde un punto de vista operatorio, el cálculo de probabilidades estaría ligado a la combinatoria y al razonamiento proporcional (Piaget e Inhelder, 1951). Sin embargo, parece resultar más difícil la noción de probabilidad que la de proporción (Pérez Echeverría, 1990).

— 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 fisiconaturales. Es sin duda el menos intuitivo y el más difícil de emplear, incluso por adultos especializados (Pérez Echeverría, 1989; Pérez Echeverría y Carretero, 1990), aunque se dé la paradoja de ser a la vez empleado de modo no consciente como un mecanismo básico para el cómputo de contingencias en el aprendizaje asociativo (Pozo, 1989; Nilsson y Archer, 1985).

Cambio y transformación vs. conservación y equilibrio

Una última restricción estructural en las teorías implícitas de los alumnos, muy vinculada a las anteriores, es sin duda la tendencia ya comentada del pensamiento causal cotidiano, consistente en 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. Mientras esta conservación es directamente observable —como en la famosa tarea de la plastilina— 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.

Así, los alumnos tienen dificultades considerables para fijarse en la conservación de la masa tras una reacción química o tras una disolución (Pozo *et al.*, en prensa), en la conservación de la energía o en la conservación de la cantidad de movimiento o inercia (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Pozo, 1987), etc. Esta dificultad está en nuestra opinión conectada con la tendencia a interpretar las situaciones mediante el esquema de causalidad lineal antes mencionado. La idea de que los efectos se producen en un solo sentido implica centrarse en el cambio (acción), olvidando los efectos recíprocos (reacción), que aseguran la conservación (Inhelder y Piaget, 1955).

Se trata en definitiva de la célebre reversibilidad piagetiana, que en este caso se aplicaría a la comprensión de sistemas de equilibrio (conservación) más allá de cambios aparentes (transformación). 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 sujetos —adolescentes y adultos incluidos— les resulta muy difícil entender el equilibrio, ya sea mecánico, físico o químico, por no decir otro tipo de sistemas en equilibrio, de naturaleza sociopolítica (el equilibrio entre los tres poderes en un Estado de Derecho), histórica (la «Guerra Fría»), económico (la balanza de pagos) o psicológico (desde la equilibración piagetiana al sistema hidráulico de Freud).

La noción de equilibrio es tan general que podría servir de esquema integrador para la mayor parte de los conocimientos científicos, si bien ello no implica que todos los tipos de equilibrio a los que nos hemos referido sean similares. En todo caso, junto con las otras dos restricciones estructurales antes mencionadas, la recuperación de los esquemas operatorios piagetianos puede ser una vía muy sugestiva para analizar las dificultades a las que se enfrentan las personas que intentan aprender ciencia desde unas teorías implícitas fuertemente arraigadas, difíciles de modificar y estructuralmente simples.

Un marco teórico basado en este tipo de estructuras, u otras similares, podría ayudarnos a conocer mejor —e incluso predecir— las teorías que poseen las personas que aprenden ciencia y la forma en que dichas teorías pueden ser sometidas a un proceso de cambio conceptual que facilite la asimilación de las teorías científicas. Sin embargo, el estado actual de las investigaciones en este área sólo nos permite especular con dicha posibilidad, en espera de estudios sobre la consistencia y coherencia de las ideas científicas de los alumnos que la confirmen o la desmientan.

Notas

¹ Para un análisis extenso de las características del pensamiento formal piagetiano puede consultarse la revisión de Carretero (1985).

² Bajo esta denominación recogemos aquí las investigaciones que estudian los conocimientos previos de los alumnos bajo diferentes etiquetas, como «preconceptos», «ideas erróneas», «ciencia de los alumnos», hasta las 28 formas diferentes de denominarlas que dicen haber encontrado Giordan y de Vecchi (1987), en lo que es una prueba más de la dispersión teórica de este enfoque.

³ La exposición detallada de cada uno de los ocho esquemas sería demasiado prolija. La revisión sobre el pensamiento formal realizada por Carretero (1985) ofrece un excelente resumen de esos ocho esquemas, así como algunas razones por las que pueden resultar un instrumento conceptual útil para comprender las teorías implícitas sobre la ciencia.

Referencias

- ACEVEDO, J. A. (1990). «Concepciones de los alumnos. Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía». En: *Cambio educativo y desarrollo profesional*. Actas de las VII Jornadas de estudio sobre Investigación en la Escuela.
- ANDERSSON, B. (1986). «The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science». *European Journal of Science Education*, 8 (2), 155-171.
- ARNAY, J. (1988). *Las teorías implícitas sobre el concepto de ser vivo*. Universidad de La Laguna: Facultad de Psicología. Tesis Doctoral no publicada.

- BARSALOU, L. (1987). «The instability of graded structure: implications for the nature of concepts». En U. Neisser (Ed.) *Concepts and conceptual development*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- CALDERHEAD, J. (Ed.) (1988). *Teachers' professional learning*. Londres: Falmer Press.
- CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass: M.I.T. Press.
- (1988). «Reorganization of knowledge in the course of acquisition». En S. Strauss (Ed.) *Ontogeny, phylogeny and historical development*. Norwood, Nueva Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- CARRETERO, M. (1984). «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.
- (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. (en prensa). «The role of central conceptual structures in the development of children's scientific and mathematical thought». En A. Demetriou; M. Shayer y A. Efklides, *The cognitive developmental theories go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- CHI, M. T. H.; GLASER, R. y REES, E. (1982). «Expertise in problem solving». En R. J. Sternberg (Ed.) *Advances in the psychology of human intelligence*. Hillsdale: Erlbaum.
- CLAXTON, G. (1984). *Live and learn*. Londres: Harper & Row. Trad. cast. de C. González: *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza, 1987.
- DAVYDOV, V. V. (1972). *Vidy obobsheniya le obyrenii*. Moscú: Mir. *Tipos de generalización en la enseñanza*. La Habana: Pueblo y Educación, 1978.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHIE, 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.
- ENGEL CLOUGH, E. y DRIVER, R. (1986). «A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts». *Science Education*, 70 (4), 473-496.
- FLAVELL, J. H. (1985). *Cognitive development. Second edition*. Englewood, N.J.: Prentice-Hall.
- FULLER, R. G.; KARPLUS, R. y LAWSON, E. (1977). «Can Physics develop reasoning?» *Physics Today*, 30 (2), 23-28.
- FURNHAM, A. (1988). *Lay theories. Everyday understanding of problems in the social sciences*. Oxford: Pergamon.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du Savoir*. Delachaux et Niestlé: Neuchâtel.
- HASHWEH, M. C. (1986). «Toward an explanation of conceptual change». *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HERRON, J. D. (1975). «Piaget for chemists». *Journal of Chemical Education*, 52, 146-150.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1988). *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia/MEC.
- HOLLAND, J. M.; HOLYOAK, K. J.; NISBETT, R. E., y THAGARD, P. R. (1986). *Induction. Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- IBÁÑEZ, T. (Ed.) (1988). *Ideologías de la vida cotidiana*. Barcelona: Sendai.
- 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.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1990). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Madrid: Tesis Doctoral, facsímil, Universidad Complutense.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JOHNSTON, K. (1988). «The ownership of change as a basis for teachers' professional learning». En J. Calderhead (Ed.) *Teachers' professional learning*. Londres: The Falmer Press.
- KARMILOFF-SMITH, A. e INHELDER, B. (1975). «If you want to get ahead, get a theory». *Cognition*, 3: 195-212. Trad. cast. de J. I. Pozo en *Infancia y Aprendizaje*, 1981, 13, 67-88.
- KUHN, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. Trad. cast. de A. Contin: *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE, 1971.
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. (Ed. por J. Worall y G. Currie). Cambridge: Cambridge University Press. Trad. cast. de J. C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica* Madrid: Alianza, 1983.
- LAWSON, A. E. (1985). «A review of research on formal reasoning and science teaching». *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (7), 569-617.
- LLORENS, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*. Madrid: Visor.
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. y PALACIOS GÓMEZ, C. (1988). *La exigencia cognitiva en física básica. Un análisis empírico*. Madrid: Servicio de Publicaciones del MEC.
- MIRA, J. J. y DIGES, M. (1990). «Teorías del sentido común sobre el testimonio de testigos». Comunicación presentada al *II Congreso del Colegio Oficial de Psicólogos. Área 9: Psicología Jurídica* (pp. 16-20). Valencia: Colegio Oficial de Psicólogos.

- MORENO, A. (1989). *Perspectivas psicológicas sobre la conciencia*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid.
- NILSSON, L. G. y ARCHER, T. (Eds.) (1985). *Perspectives on learning and memory*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- NISBETT, R. E. y WILSON, T. D. (1977). «Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes». *Psychological Review*, 84, 231-259.
- NOVAK, J. D. y GOWIN, B. D. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, Ma: Cambridge University. Trad. cast. de J. M. Campanario y E. Campanario: *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca, 1988.
- OLIVA, J. M. y ROSADO, L. (1990). «Influencia de la habilidad de razonamiento formal y del estilo cognitivo en la naturaleza y consistencia de las ideas previas de los estudiantes sobre mecánica: primeros resultados». En *Cambio educativo y desarrollo profesional*. Actas de las VII Jornadas de estudio sobre Investigación en la escuela de Sevilla.
- 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. (1989). *Las teorías implícitas en el razonamiento inductivo*. Informe no publicado: Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.
- (1990). *Psicología del razonamiento probabilístico*. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid.
- PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P. y CARRETERO, M. (1990). «Influencia de la instrucción en la solución de problemas de correlación». *Estudios de Psicología*, 43/44.
- PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P.; CARRETERO, M. y POZO, J. I. (1986). Los adolescentes ante las matemáticas: proporción y probabilidad». *Cuadernos de pedagogía*, 133, 9-33.
- PIAGET, J. (1971). «Causalité et opérations». En J. Piaget y R. García *Les explications causales*. París: P.U.F., Trad. cast. de E. R. Poliza: *Las explicaciones causales* Barcelona: Barral, 1973.
- PIAGET, J. e INHELDER, B. (1951). *La genese de l'idée d'hasard chez l'enfant*. París: Presses Universitaires de France.
- POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- 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.
- (1989). «Las explicaciones causales de expertos y novatos en Historia». En: M. Carretero; J. I. Pozo y M. Asensio (Eds.) *La enseñanza de las ciencias sociales*. Madrid: Visor.
- (en prensa). «Causal theories and reasoning strategies by experts and novices in Mechanics». En A. Demetriou; M. Shayer y A. Efklides (Eds.) *The cognitive developmental theories go to school*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A.; LIMÓN, M. y SANZ, A. (en prensa). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la química*. Madrid: Servicio de Publicaciones del M.E.C.
- POZO, J. I.; SANZ, A.; GÓMEZ CRESPO, M. A. y LIMÓN, M. (1991). «Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva». *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94.
- RICHARDSON, K. (1988). *Understanding psychology*. Milton Keynes: Open University Press.
- RODRIGO, M. J. (1985). «Las teorías implícitas en el conocimiento social». *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 145-156.
- ROSCH, E. (1978). «Principles of categorization». En E. Rosch y B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- RUMELHART, D. E. (1981). «Schemata: the building blocks of cognition». En R. Spiro; B. Bruce y W. Brewer (Eds.) *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- RUMELHART, D. E.; McCLELLAND, J. L. y grupo PDP (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition*. Cambridge, Ma: Bradford Books.
- SANZ, A. (1991). *Razonamiento proporcional e influencia del contenido: un estudio en el campo de la química*. Madrid: Universidad Autónoma, Memoria de Licenciatura inédita.
- SCHOLNICK, E. K. (Ed.) (1983). *New trends in conceptual representation: challenges to Piaget's theory?* Hillsdale, N.Y.: Erlbaum.
- 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.
- STRAUSS, S. (Ed.) (1988). *Ontogeny, phlogeny and historical development*. Norwood, N.J.: Ablex Publishing Corporation.
- TRIANA, B. y RODRIGO, M. J. (1985). «El concepto de infancia en nuestra sociedad: una investigación sobre teorías implícitas de los padres». *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 157-171.
- TVERSKY, A. y KAHNEMAN, D. (1974). «Judgements under uncertainty: heuristics and biases». *Science*, 185, 1124-1131. Trad. cast. de J. I. Pozo en M. Carretero y J. García Madruga (Eds.): *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- VOSS, J. F. (1986). «Social studies». En R. F. Dillon y R. J. Sternberg (Eds.), *Cognition and Instruction*. Londres: Academic Press.

- VYGOTSKI, L. S. (1934). *Myshlenie i rech.* Trad. cast. de M. M. Rotger: *Pensamiento y Lengua*. Buenos Aires: La Plyade, 1977.
- WEST, L. H. T. y PINES, A. L. (Eds.) (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press.
- WITTGENSTEIN, L. (1953). *Philosophical investigations*. N. York: McMillan.

Extended Summary

Many current studies in learning and education are concerned with the influence of students' prior knowledge on learning processes and outcomes. This paper examines the characteristics of students' prior knowledge in the context of science learning. During the last two decades, research on students' prior conceptions has been guided by two different theoretical approaches: Piagetian theory of formal operations, and the alternative conceptions approach. Although both share a constructivist view of learning, they disagree on other central issues such as knowledge organization in the student's mind. As a result, they support different models of instruction. Whereas Piagetian theory maintains that scientific knowledge is organized in general structures, the alternative conceptions approach supports that it is based on the understanding of specific scientific concepts.

A new perspective which has recently emerged is the «implicit theories» perspectives. This view supports a position which lies halfway between the two other perspectives. Its aim is to explain both the coherence of pupils' notions inside a particular field of knowledge and the differences within and between fields of knowledge. This approach is based on current cognitive research and theories dealing with knowledge representation and organization. Studies have shown that students have personal theories formed by different concepts and links which establish relations between them. These implicit theories are useful to explain and predict the world around us. Hence, personal or implicit theories are very similar to scientific theories. However, they differ from each other in many other aspects. For instance, knowledge representation and organization is different in expert and novice subjects. These differences relate not only to the conceptual and factual content of these theories but also to their conceptual organization and representation. Personal theories have features which are similar to «natural concepts» and they are more unstable than scientific theories. Whereas personal theories are based on implicit representations—similar to the «mental models» proposed by modern cognitive science—scientific theories are explicit in nature. In other words, personal theories about science are usually made up of widespread and ill-defined concepts underlying the action. These concepts usually arise from everyday experience and from actions about objects. They are not explicit knowledge based on conscious and reflective thought. Personal or implicit theories are usually based on everyday cognition, while scientific theories emerge after a period of deliberate and conscious learning.

Moreover, implicit theories that students have in different scientific domains would have a number of common structural constraints acting as epistemological obstacles for science learning. In order to understand scientific theories the student must overcome pervasive constraints in his/her

everyday cognition. Structural constraints found in implicit theories are partly opposed to Piagetian formal operational schemata. According to Piaget, these schemata are intermediate between general formal structures and specific scientific notions.

In the last section of this paper, it is suggested that for a conceptual change in science to take place it is necessary to overcome the structural constrictions of implicit theories. This may be achieved through learning and the efficient of formal operational schemata in scientific domains.