

HISTORIA



Y EPISTEMOLOGIA DE LAS CIENCIAS

LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA CIENCIA: UNA INTERPRETACIÓN DESDE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA(*)

POZO, J.A., SANZ, A., GÓMEZ CRESPO, M.A. y LIMÓN, M.
Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid.

(*) El presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación concedida por el C.I.D.E., dentro del Concurso Nacional de Proyectos de Investigación Educativa de 1988, a una investigación realizada por los autores. Agradecemos a María del Puy Pérez Echeverría sus comentarios al borrador del artículo, así como a Carmen Gómez Granell y a todas las personas que asistieron al Seminario organizado por el I.M.I.P.A.E. de Barcelona en el que tuvimos ocasión de debatir el contenido de este trabajo.

SUMMARY

This paper deals with the psychological processes by which students' alternative ideas of scientific concepts arise.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la investigación sobre didáctica de las ciencias se ha consolidado en torno al estudio de las ideas de los alumnos como punto de partida de la enseñanza. Son muy numerosos los trabajos y los autores

que, con diversas variantes, sostienen que para enseñar ciencia a los alumnos es necesario partir de las ideas que los alumnos poseen para modificarlas. Han surgido así diversos modelos de cambio conceptual y, especialmente,

se han acumulado un gran número de estudios sobre las ideas de los alumnos en los más variados dominios científicos. La mayor parte de estos trabajos son de naturaleza descriptiva y, aunque su metodología no siempre sea adecuada a los fines que se proponen (Pozo et al. 1990), nos han proporcionado un amplio bagaje de conocimientos, las más de las veces descriptivos y puntuales sobre las ideas de los alumnos.

Esta amplia *base de datos* sobre las ideas de los alumnos, parcialmente recopilada por autores como Driver, Guesne y Tiberghien (1985) o, entre nosotros, Hierrezuelo y Montero (1988), abre sin embargo nuevas incógnitas sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos, sobre las que debería orientarse en el futuro buena parte de la investigación en esta área. Dejando a un lado otro tipo de problemas, en nuestra opinión hay tres preguntas esenciales que subyacen a la mayor parte de los trabajos y que rara vez se plantean de manera clara, pero de cuya respuesta depende no sólo la posibilidad de diseñar recursos didácticos eficaces para la enseñanza de la ciencia sino también la organización y secuenciación de los contenidos en los futuros currículos de ciencias.

De un modo forzosamente sintético estas tres preguntas serían (Pozo et al. 1990): a) *¿Qué tipos de ideas tienen los alumnos y de dónde proceden?* b) *¿Cómo se organizan esas ideas en la mente de los alumnos?* c) *¿Cuáles son los mecanismos de cambio de esas ideas?* Las tres preguntas se hallan estrechamente relacionadas, ya que no pueden cambiarse las ideas de los alumnos sin conocer cuál es su génesis y cómo están organizadas. De hecho, en las modernas teorías cognitivas del aprendizaje la adquisición de conocimientos es un aspecto difícilmente separable de su representación (Pozo 1989). La organización de los contenidos en el currículo debe tener en cuenta si las ideas de los alumnos se organizan en forma de conocimientos específicos aislados o bien conforman *teorías personales* o implícitas en dominios diversos (Claxton 1984, Pozo 1987a, Pozo et al. 1990 y Rodrigo 1985). Pero también debe basarse en un conocimiento sobre el *origen* de esas mismas ideas. El presente artículo, dejando para otra ocasión los otros dos aspectos mencionados, se ocupa de analizar los procesos psicológicos que están en el origen de las ideas de los alumnos, que por lo demás no difieren mucho de los que nosotros mismos utilizamos a diario para entender el mundo que nos rodea.

En la literatura reciente se encuentran un buen número de sugerencias sobre los causas psicológicas de que los alumnos tengan las ideas que tienen sobre los hechos científicos. Desde la predominancia de lo perceptivo (Driver, Guesne y Tiberghien 1985) o el uso de un razonamiento causal simple (Andersson 1986a) hasta la influencia de la cultura y la sociedad (Giordan y de Vecchi 1987, Solomon 1987), canalizada especialmente a través del lenguaje (Llorens, en prensa), sin olvidar los efectos nocivos de ciertas formas de didáctica de la ciencia que a veces no sólo no modifican las ideas de los alumnos sino que además generan nuevas ideas científicamente erróneas. Aunque posiblemente todas estas fuentes -y algunas otras no mencionadas o tal vez impen-sadas aún- estén interactuando en el origen de las ideas

de los alumnos, es importante analizar las distintas implicaciones de cada uno de esos tipos de causa, ya que se ha sugerido que la estabilidad y la propia naturaleza representacional de las concepciones de los alumnos dependen en parte de los procesos mediante los que se han construido, por lo que no sería descabellado pensar que su cambio requiera a su vez estrategias didácticas distintas.

Todas las causas antes mencionadas pueden, a nuestro entender, clasificarse en tres grandes grupos, que originarían tres tipos de concepciones levemente diferenciadas, aunque en continua interacción. No se trata de establecer tres tipos diferenciados de ideas, ya que las cosas pueden ser bastante más complejas, al haber interacción entre esos factores. No obstante, pueden diferenciarse tres posibles orígenes para las ideas de los alumnos:

a) *Origen sensorial: las concepciones espontáneas.* Se formarían en el intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basarían esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos -en el caso del mundo natural- mediante procesos sensoriales y perceptivos.

b) *Origen social: las concepciones inducidas.* El origen de estas concepciones no estaría tanto dentro del alumno como en su entorno social, de cuyas ideas se impregnaría el alumno. La cultura es entre otras muchas cosas un conjunto de creencias compartidas por unos grupos sociales, de modo que la educación y la socialización tendrían entre sus metas prioritarias la asimilación de esas creencias por parte de los individuos. Dado que el sistema educativo no es hoy el único vehículo -y a veces ni siquiera el más importante- de transmisión cultural, los alumnos accederían a las aulas con creencias socialmente inducidas sobre numerosos hechos y fenómenos.

c) *Origen analógico: las concepciones análogas.* A pesar de la ubicuidad de las concepciones alternativas, existen algunas áreas de conocimiento con respecto a las cuales los alumnos carecerían de ideas específicas, ya sea espontáneas o inducidas, por lo que para poder comprenderlas se verían obligados a activar, por analogía, una concepción potencialmente útil para dar significado a ese dominio. Cuanto menor sea la conexión de un dominio con la vida cotidiana mayor será la probabilidad de que el alumno carezca de ideas específicas al respecto. De esta forma, la comprensión debe basarse en la formación de analogías, ya sea generadas por los propios alumnos o sugeridas a través de la enseñanza.

Como hemos comentado, esta distinción no implica que desde un punto de vista cognitivo las diferentes concepciones funcionen por separado. De hecho, como acabamos de sugerir, las analogías deben formarse a partir de concepciones ya existentes, normalmente formadas a través de las otras vías. Del mismo modo, las concepciones socialmente inducidas deben ser asimiladas por cada persona en función de sus conocimientos previos, en los cuales obviamente las concepciones espontáneas desempeñan una función primordial. Por ello, aunque exponemos por separado las características de cada uno de estos tipos de concepciones, lo haremos buscando

también su conexión. Para ello seguiremos el orden antes expuesto, comenzando por las más inmediatas a la psicología del alumno para adentrarnos luego en las restantes.

LAS CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS: LA PSICOLOGÍA DEL SENTIDO COMÚN

En los últimos años la imagen de los adolescentes y adultos como «animales racionales» ha cambiado profundamente en la psicología del pensamiento. De seres dotados de una lógica, formal o natural, innata o construida, hemos pasado a ser personas dominadas por tendencias intuitivas poco «lógicas», de dudosa racionalidad y plagadas de sesgos en nuestro razonamiento. Se ha ido imponiendo cada vez más la idea de que las personas —profesores y alumnos incluidos— nos regimos más por criterios de conveniencia pragmática que de coherencia lógica (Pérez Echeverría 1989, de Vega 1984). En nuestros análisis causales no buscamos tanto ser rigurosos y exhaustivos en nuestras explicaciones como tener ideas eficaces, es decir, altamente predictivas (Pozo 1987a). Esta imagen poco rigurosa o racional —siempre que la racionalidad se defina con criterios lógicos— de nosotros mismos tiene implicaciones importantes con respecto a las búsquedas causales que realizan los alumnos y a las concepciones que forman mediante su razonamiento causal. Si una buena parte de las concepciones alternativas de los alumnos son espontáneas en el sentido de que son fruto de sus intentos de dar sentido a la actividad cotidiana, los procesos que están en el origen de esas concepciones tienen que ver con la «psicología del sentido común» (Flechler 1984, Smedslund 1982, Valsiner 1985) o la psicología popular o *folk psychology* (Clark 1987, Stich 1983, véase también el reciente debate publicado en la revista *Cognitiva* a partir del trabajo de López Cerezo 1989).

Uno de los conceptos que mayor influencia ha tenido en la reciente evolución de la psicología del pensamiento ha sido la noción de *heurístico* desarrollada por Tversky y Kahneman (1974). Según estos autores, las personas, en lugar de usar reglas formales rigurosas para razonar, solemos utilizar reglas aproximativas, de carácter más bien intuitivo, que nos ayudan a cerrar tareas complejas o a alcanzar conclusiones en situaciones inciertas en las que la aplicación de un análisis lógico sistemático sería muy costosa. Esas reglas aproximativas, que ellos denominan *heurísticos*, conllevarían ciertos sesgos que nos alejarían de las conclusiones formalmente correctas —o científicamente válidas— pero serían pragmáticamente útiles en la vida cotidiana. Aunque no están aún del todo claros ni el estatuto psicológico de los *heurísticos* (García Madruga y Carretero 1986, Pérez Echeverría, en prensa, Vázquez 1985) ni su generalidad o ámbito de aplicación —ya que las investigaciones se han realizado casi exclusivamente con adultos—, en el análisis causal de los fenómenos científicos, por la complejidad de éstos, se pueden identificar una serie de reglas, de carac-

ter *heurístico*, cuya construcción y aplicación a dominios específicos se conoce con un cierto detalle (Pozo 1987a), y que constituyen una auténtica «metodología de la superficialidad» (Gil 1986, Gil y Carrascosa 1985) por oposición a la metodología científica rigurosa.

La mayor parte de las reglas de razonamiento causal cotidiano, estudiadas tanto en el razonamiento infantil como en el adulto, están directa o indirectamente emparentadas con las leyes empiristas de la causalidad enunciadas por David Hume. Los empiristas partían del supuesto de que todas nuestras ideas y conocimientos proceden de las impresiones que los estímulos dejan en nuestros sentidos. Este origen sensorial o perceptivo de las ideas requiere una serie de reglas que asocian unos hechos con otros y unas ideas con otras. Esas reglas parecen adquirirse tempranamente (en torno a los 4-5 años) y siguen formando parte de la psicología de sentido común que usamos los adolescentes y adultos. Por consiguiente, el cambio metodológico que algunos autores (Gil 1986, Gil y Carrascosa 1985) reclaman como complemento imprescindible del cambio conceptual en la enseñanza de la ciencia consistiría, desde este punto de vista, en gran medida, en la superación o la restricción en el uso de las reglas de inferencia causal que se describen e ilustran a continuación.

Esta exposición, que no necesariamente agota todas las reglas utilizadas por los alumnos en su razonamiento espontáneo, recoge no obstante las más importantes. De entre ellas hay una de carácter más general que las restantes, ya que no informa sobre cuál puede ser la causa de un fenómeno sino sobre cuándo debe ponerse en marcha la búsqueda de causas. Como diversos autores han destacado (Driver 1988, Driver, Guesne y Tiberghien 1985), los alumnos tienden a *explicar los cambios, no los estados*. En contra de los supuestos de la mecánica newtoniana, los alumnos suelen mantener la creencia aristotélica de que el estado o el reposo es el estado «natural» de las cosas, de tal forma que todo movimiento debe ser explicado, y por tanto todo movimiento implica una causa —en este caso, una fuerza— (Driver 1986, Gunstone y Watts 1985, Pozo 1987b). Igualmente, en su comprensión de los fenómenos químicos, los alumnos buscan explicaciones a los cambios aparentes pero no a los estados, lo que les impide comprender conceptos como el de reacción química (Andersson 1986b). Asimismo, se fijan más en el estado final de una transformación que en su estado inicial, lo que les va a dificultar comprender todos aquellos conceptos que impliquen conservaciones no observables o el mantenimiento de estados dinámicos de equilibrio (Pozo 1988, Pozo et al. 1990).

La asimetría establecida por los alumnos entre los estados —que no precisan explicación— y los cambios —que deben ser explicados— es común a nuestro pensamiento cotidiano. Pocas veces nos preguntamos sobre el funcionamiento de nuestro coche, hasta que algo deja de funcionar; hay que explicar por qué se separan las parejas, no por qué siguen juntos; no hay que explicar por qué los alumnos aprueban, sino por qué suspenden, etc. De hecho, podríamos decir que las personas tendemos a no hacer demasiadas indagaciones causales sobre lo que nos parece «normal» o «natural» (de ahí que nos

resulten tan incómodas esas preguntas tan características de los niños de 4 o 5 años: ¿por qué...?). Solemos poner en marcha nuestras reglas de búsqueda causal cuando nos encontramos con un hecho sorprendente e inesperado, con algo nuevo. Nos preguntamos por qué tenemos ese molesto dolor de cabeza, no por qué *no* lo tenemos, a no ser que padezcamos una cefalea crónica y un día de pronto dejemos de sentir dolor; hay que buscar las causas de un suspenso, siempre que no suspendamos siempre, en cuyo caso habría que explicar más bien los aprobados. Adquirir una actitud científica —uno de los objetivos irrenunciables de la enseñanza de la ciencia en el período obligatorio— es en parte aprender a hacerse preguntas sobre el estado de las cosas, sobre lo normal y cotidiano.

Centrarse en los cambios más que en los estados supone a los alumnos una importante limitación para construir algunos de los esquemas esenciales de la comprensión de la ciencia, como son las nociones de conservación y equilibrio. Todo cambio implica a un tiempo transformación y conservación y la comprensión de una relación causal implica captar la relación entre ambos (Piaget y García 1971). Difícilmente van a comprender los alumnos lo que se conserva si se fijan sólo en lo que se transforma. Y así también se dificulta la comprensión de nociones de equilibrio, basadas en principios de acción y reacción, relación entre estados sucesivos que, más allá de ciertas transformaciones, mantienen o conservan un cierto equilibrio. Sin entender estas dos nociones no es posible, por ejemplo, comprender el concepto de reacción química (Andersson 1986b, Pozo et al. 1990), pero tampoco otros conceptos científicos básicos como el concepto de calor (Wiser 1988) o el de interacción ecológica (García et al. 1990).

Junto a este principio general, que se refiere a cuándo hay que explicar algo, existen otra serie de reglas más específicas que vendrían a informar sobre cuáles son las causas más probables de un hecho. Una primera regla sería la *accesibilidad*, correspondiente al heurístico del mismo nombre enunciado por Tversky y Kahneman (1974). De acuerdo con esta regla, dado un efecto tenderemos a atribuirlo a aquella causa que resulte más accesible a nuestra memoria, es decir, que recuperemos con mayor facilidad. Aunque las leyes y procesos que rigen la recuperación de la información de nuestra memoria son muy complejos (Baddeley 1976, 1982, Tulving 1983, de Vega 1984), a efectos de la presente exposición podemos destacar tres factores que influyen en la facilidad de recuperación de una idea, hecho o principio de nuestra memoria.

En primer lugar, recuperaremos un dato o una idea cuanto más recientemente la hayamos procesado o utilizado. Si ayer se rompió un cristal a causa de un portazo, es probable que si se rompe ahora otro cristal lo atribuya a la misma causa, siempre que ello no vaya en contra del resto de las reglas de inferencia. Este efecto de *recencia* en la recuperación de información de la memoria a largo plazo le confiere una cierta «contemporaneidad» a las concepciones del alumno, que en algunos casos cobran significado en la realidad social inmediata. No cabe duda de que los medios de comunicación social crean

contemporaneidad; independientemente de su probabilidad objetiva, el SIDA es una enfermedad más probable subjetivamente que la hepatitis.

Este efecto se complementa con otro de *frecuencia*, según el cual propendremos más probablemente aquellas causas a las que recurrimos un mayor número de veces. En otras palabras, cada vez que atribuyo un hecho a una causa, aumento la probabilidad de volver a recurrir a esa causa. Dado que la experiencia cotidiana de todas las personas no es exactamente igual, este factor puede producir ciertas diferencias individuales en la explicación causal, en función de nuestra pericia (o *expertise*) con un área. La práctica tiene consecuencias sobre las ideas que los alumnos activarán en un contexto concreto.

Por último, un tercer factor que afecta a la probabilidad de recuperación de una información es el grado en que esa información es destacada o sobresaliente. La *saliencia* de la información depende especialmente de la forma en que la recibimos y procesamos. Numerosos estudios (Kahneman, Slovic y Tversky 1982, Nisbett y Ross 1980) han mostrado que en las personas adultas la información percibida directamente —por ejemplo, ver un accidente de tráfico o sufrir un atraco— afecta más a la persona que la información más abstracta, codificada conceptualmente —por ejemplo, estadísticas sobre el número de accidentes de tráfico o de atracos—, de tal forma que es la información más «vívica» la que se recupera más fácilmente, incrementando la probabilidad subjetiva de que ese fenómeno vuelva a ocurrir. Este efecto vendría a mostrar que las representaciones más abstractas se recuperan más difícilmente que las más concretas en contextos concretos, y obviamente se vería incrementado en el caso de los niños y de las personas poco instruidas, ya que una de las funciones de la educación parece ser fomentar los sistemas de representación más abstractos.

En la comprensión de la ciencia por los alumnos se ha destacado repetidamente (Driver, Guesne y Tiberghien 1985, Serrano 1988) que sus concepciones se centran casi exclusivamente en lo observable, que su pensamiento está «dominado por lo perceptible». Así, la luz sólo existe cuando sus efectos son observables (Guesne 1985), los rozamientos no se conciben como fuerzas (Pozo 1987b, di Sessa 1983), y los gases tienen propiedades cuando están coloreados, pero no cuando no son visibles (Seré 1985). De esta forma, los alumnos parecen partir de una regla, basada en la accesibilidad, que afirmaría algo así como que «*lo que no se percibe, no se concibe*», encontrándonos ante un caso más de *décalage* vertical, tal como lo define Piaget. La construcción del conocimiento supondría así una superación progresiva de las apariencias proporcionadas por diferentes formas de representación: desde la no conservación del objeto permanente en los bebés —que funcionarían mediante una regla «fuera de la vista, fuera de la mente»—, la superación de los engaños perceptivos propios del período preoperacional mediante las conservaciones observables, o la construcción de las conservaciones no observables (Inhelder y Piaget 1955).

Además del heurístico de accesibilidad, Tversky y Kah-

neman (1974) formulan un segundo heurístico, que ellos denominan «representatividad» y al que nosotros —recurriendo a la terminología clásica de Hume— nos referiremos como regla de *semejanza*. Dejando a un lado otras situaciones en las que las personas aplicamos esta regla, en nuestros análisis causales tendemos a creer que existe una semejanza básica entre las causas y los efectos, por lo cual ante un efecto novedoso tendemos a buscar causas similares a él en algunos aspectos. Una de las implicaciones de esta regla es que las personas tendemos a creer que existe una semejanza entre los hechos y los modelos que los explican. Los que no somos expertos en un área tendemos a explicar los estados emocionales de las personas por causas emocionales, o la situación económica de un país por causas económicas, mientras que los expertos admiten una más compleja relación entre causas y efectos de naturaleza diferente (Pozo y Carretero 1989). Otro tanto sucede a los alumnos con la ciencia. Si en el mundo observable o macroscópico la materia es continua, así será también en el mundo microscópico (Gabel 1987, Nussbaum 1985). Una consecuencia de esta regla será que tenderemos a atribuir a la realidad desconocida las propiedades de los modelos conocidos o más accesibles. Dado que nosotros somos la parte que más conocemos del mundo, tenderemos a pensar que el mundo se nos parece. Así, los niños (Carey 1985) e incluso los adultos (Delval 1975, Lesser y Paynter 1985) tendemos a atribuir propiedades animistas al mundo inanimado o, en el área de biología, a explicar la conducta de los organismos con criterios «antropocéntricos», atribuyendo a los animales intenciones y metas similares a las que atribuimos a nuestra propia conducta y a la de los demás (por ejemplo, el perro ladra «para» que le demos de comer). Cuando los niños aprenden que «las plantas respiran», inmediatamente les atribuyen pulmones y órganos respiratorios (Giordan y deVecchi 1987), la condensación es interpretada como si fuera un fenómeno de sudoración, etc. Más adelante volveremos sobre este punto al referirnos a la activación de modelos analógicos, ya que se rige por una regla de semejanza.

Pero esta regla de semejanza tiene una segunda consecuencia sobre nuestros juicios causales. Además de creer en ocasiones que las causas son de la misma naturaleza que los efectos observados, tendemos a creer muchas veces que existe una semejanza o correspondencia cuantitativa entre ambas. Según el conocido dicho de que a «a grandes males, grandes remedios», tendemos a creer, de forma intuitiva, que a grandes efectos, grandes causas. Así, un cambio en la cantidad de efecto se debe corresponder con un cambio similar en la cantidad de causa, y viceversa. Ante un recipiente con agua hirviendo (a 100°), los alumnos creen que si incrementamos la intensidad del fuego aumentará en correspondencia la temperatura del agua (Andersson 1986a). En mecánica, tienden a creer que el movimiento de los objetos está causado por una fuerza en la dirección del movimiento que aumenta a medida que el objeto se acelera y disminuye a medida que éste decelera (Gunstone y Watts 1985, Pozo 1987b).

Esta creencia en la relación cuantitativa entre causa y efecto afecta al razonamiento causal de los alumnos de otra forma. Según la teoría de la atribución causal de

Kelley (1967), las personas dispondríamos de esquemas causales simples y múltiples, pero sólo utilizaríamos éstos últimos cuando la intensidad del efecto fuera muy alta, ya que supondríamos que esa intensidad se debería a la concurrencia de varias causas y no a la acción de una sola. La mayor parte de los autores coinciden en señalar que el razonamiento espontáneo de los alumnos sobre fenómenos científicos se basa en una *causalidad lineal y simple*, sin que, que nosotros sepamos, se hayan estudiado los efectos de «descuento» de causas postulados por Kelley. En relación con este carácter lineal, unidireccional y simple de la explicaciones causales de los alumnos (Andersson 1986a, Driver, Guesne y Tiberghien 1985), diversos estudios (Kuhn 1983, Pozo 1987a, Pozo, Asensio y Carretero 1986, Pozo y Carretero 1989) han mostrado que la complejidad de las relaciones causales se incrementa con la edad y la instrucción, si bien incluso los adultos instruidos siguen buscando relaciones causales simples cuando se encuentran con efectos aparentemente fáciles de explicar. El problema no sería sólo que los alumnos tengan en cuenta un mayor número de factores para explicar un hecho —en vez de recurrir a una sola causa— sino también la relación, aditiva o interactiva, que establecen tanto entre las propias causas como entre las causas y sus efectos. Los alumnos suelen recurrir a explicaciones aditivas más que interactivas. Así, la oxidación o la combustión se explican no como una combinación de átomos sino como un proceso aditivo (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein 1987).

Otra de las reglas habituales en el razonamiento causal cotidiano de los alumnos es la *contigüidad espacial* entre causa y efecto. La causa debe estar próxima, sino en contacto directo con el efecto (Andersson 1986a). Aunque en algunos dominios podemos admitir la causalidad indirecta o mediada, tendemos a buscar las causas cerca o en contacto con los efectos, o, en palabras de Andersson (1986a), *cuanto más cerca, mayor es el efecto*. Así, ante un circuito eléctrico, los alumnos creen que cuanto más alejada está una bombilla de la fuente de energía menos lucirá (Andersson 1986a) y que una pérdida de contacto entre causa y efecto disminuye o hace desaparecer la relación causal. El razonamiento secuencial de los alumnos sobre circuitos eléctricos (Acevedo 1989a, Guesne 1985) no es el único ejemplo de la necesidad de ese contacto. Otros similares se encontrarían en mecánica —un objeto en movimiento lleva una fuerza o ímpetu en sí mismo—, en química —la reacción química entendida como desplazamiento (Andersson 1986b)— o en biología —en relación, por ejemplo, con las ideas sobre el contagio como causa de buena parte de las enfermedades (del Barrio 1988).

Muy conectada con lo que acabamos de decir está la regla de *contigüidad temporal* entre causa y efecto, según la cual no sólo estarían próximos en el espacio sino también en el tiempo. Aunque el horizonte temporal del alumno va aumentando con la edad, de tal forma que progresivamente van representándose períodos de tiempo más largos (Friedman 1982, Piaget 1946), hay una tendencia a buscar las causas de los hechos en los fenómenos inmediatamente anteriores a los efectos. Esta tendencia suele ser útil en la causalidad mecánica, pero plantea dificultades cuando los fenómenos que deben explicarse

se inscriben en períodos notablemente largos. Así sucede en el caso del tiempo personal (Levin y Zakay 1989), de las explicaciones históricas (Asensio, Carretero y Pozo 1989, Pozo 1985) y, en el caso de las Ciencias de la Naturaleza, en la comprensión de los cambios geológicos y biológicos. Por ejemplo, el concepto darwiniano de selección natural requiere, a diferencia de las concepciones lamarquianas, tiempos muy largos para la producción de las mutaciones aleatorias ambientalmente seleccionadas, lo cual podría ser un factor que contribuiría a dificultar la comprensión de las ideas darwinianas, y, junto con el egocentrismo cognitivo derivado del sesgo de accesibilidad, facilitaría la aparición de ideas finalistas o lamarquianas entre los alumnos (Jiménez Aleixandre y Fernández 1989). En todo caso, la amplitud de los tiempos geológico y biológico, en mayor medida aún de lo que sucede con el tiempo histórico, introduce dificultades cognitivas específicas en la comprensión de las nociones de estas áreas, frente al mundo «más contiguo» de los cambios físicos y químicos.

Una última regla tiene que ver con el uso que las personas hacemos de la *covariación*. Aunque *stricto sensu* la covariación entre dos hechos, por sistemática que sea, no implica una relación causal entre ellos (el rayo y el trueno no están causalmente relacionados entre sí, sino que ambos son efectos de otra causa común), las personas, alumnos incluidos, tendemos a atribuir causalidad a los hechos que suceden sistemáticamente juntos. En su forma más simple, una simple coocurrencia entre dos hechos puede bastarnos para establecer una conexión causal entre ellos (Acevedo 1989b, Kuhn, Pennington y Leadbeater 1983, Pozo 1987a). Las dificultades que muestran los alumnos para controlar variables, debidas sobre todo a problemas conceptuales y metacognitivos, están relacionadas con la dificultad de usar explicaciones causales múltiples y con la de analizar covariaciones múltiples en lugar de simples coocurrencias. De entre los métodos de razonamiento científico, el razonamiento correlacional es probablemente uno de los menos desarrollados, no sólo entre los alumnos adolescentes, sino también entre los adultos universitarios, estando sujeto a múltiples limitaciones y deficiencias (Pérez Echeverría, en prensa). Dada la complejidad de hacer un análisis correlacional o un análisis de covariación múltiple, tendemos a confiar, por razones pragmáticas, en una regla más sencilla y superficial como es la regla de covariación simple entre un hecho y un antecedente, aunque la verdadera causa fluya muchas veces por debajo de esa superficie en la que se quedan muchos análisis causales, basados en las reglas que acabamos de describir.

A pesar de la importancia de estas reglas, posiblemente no agoten todas las que los alumnos utilizan en su razonamiento cotidiano para formar sus concepciones espontáneas. Sería necesaria mucha más investigación de la realizada hasta la fecha con el fin de aclarar los ámbitos de aplicación de cada una de estas reglas y las relaciones entre ellas. Esa investigación serviría en nuestra opinión para dar un mayor sentido a la gran cantidad de datos acumulados sobre las concepciones, muchas de ellas espontáneas, de los alumnos. Para promover un verdadero cambio conceptual hay que conocer los procesos causales de las concepciones de los alumnos.

Según el análisis que hemos realizado, las reglas de inferencia causal determinarían en gran medida los contenidos de las ideas de los alumnos, además de condicionar su estructura. La necesidad de un cambio conceptual y metodológico en los alumnos requiere un conocimiento más detallado de los «métodos» mediante los cuales los alumnos construyen sus concepciones, para así promover el uso alternativo de procedimientos científicos más rigurosos que vayan más allá del análisis causal proporcionado por las reglas intuitivas que acabamos de describir.

Pero, como mencionábamos unas páginas atrás, a pesar de la importancia de las concepciones espontáneas, que constituyen una parte muy importante de las estudiadas hasta la fecha (Pozo y Carretero 1987, Viennot 1979), existen otros mecanismos de formación que dan lugar a otro tipo de concepciones en los alumnos. Entre ellas merecen una especial atención las concepciones inducidas por la cultura y la instrucción.

LAS CONCEPCIONES INDUCIDAS: LAS REPRESENTACIONES SOCIALES

El hecho de entender las ideas de los alumnos como constructos personales no debe hacernos olvidar que su construcción tiene lugar en un contexto social que induce o favorece cierto tipo de ideas. Los alumnos no son robinsones, ni siquiera seres rousseaunianos, que construyan sus conocimientos aislados de la sociedad, sino que elaboran su conocimiento en un contexto cultural determinado. Entre las fuentes socioculturales del conocimiento del alumno cabe destacar no sólo la familia y el sistema educativo sino también la creciente influencia de los medios de comunicación en la formación de concepciones a través de la divulgación científica.

A pesar de que la mayor parte de las investigaciones sobre comprensión de la ciencia centran su análisis en el alumno individual, los estudios en este campo no han sido ajenos a esta influencia sociocultural. Diversos autores (Hierrezuelo y Moreno 1988, Llorens, en prensa, Llorens y de Jaime 1987, Lynch 1985, Solomon 1987) destacan como una de las fuentes de las ideas de los alumnos la influencia del medio cultural, transmitida esencialmente a través del lenguaje. Muchos de los términos científicos (fuerza, energía, luz, reacción, calor, trabajo, etc.) poseen un significado bien diferente en el lenguaje cotidiano, por lo que la enseñanza de esos conceptos debería partir de un conocimiento de los significados culturalmente compartidos y transmitidos a través del lenguaje.

La mayor parte de estos estudios parten de la idea de que el lenguaje constituye «un observable de los procesos cognitivos» y de las influencias culturales (Llorens, de Jaime y Llopis 1989) y suelen recurrir a técnicas sencillas basadas en asociación de palabras (Johnstone y Moynihan 1985, Llorens y de Jaime 1987) o en definición de términos (Lynch 1985). A través de estas u otras técnicas similares se obtiene el significado que para los alumnos

tienen, previamente a la instrucción, ciertos términos, y se diseñan procedimientos para acercar ese significado al científicamente aceptado (Bell y Freyberg 1985), para lo cual es preciso determinar previamente las diferencias entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico (Llorens, de Jaime y Llopis 1989, Schollum y Osborne 1985).

Sin embargo, aun cuando existen algunos análisis de las relaciones entre pensamiento y lenguaje en la comprensión de la ciencia, estas relaciones son bastante más complejas de lo que estos estudios parecen suponer. Difícilmente el lenguaje pueden considerarse hoy un «observable de los procesos cognitivos» ni reducirse, como hacen estos estudios, a sus aspectos semánticos. Lo que en realidad parecen abordar estos trabajos es el campo semántico de las categorías «de sentido común» —o categorías naturales en la terminología de la psicología cognitiva (Rosch 1978)— con las que los alumnos acceden al aula. Los datos obtenidos son muy relevantes, ya que muestran el diferente significado que para los alumnos tienen, en ciertos contextos, los términos usados por la ciencia. Sin embargo, es difícil explicar estos resultados por la influencia única del lenguaje. Según Llorens (en prensa), esos diversos significados serían el producto de distintas «microculturas», constituidas por conjuntos de experiencias o prácticas cotidianas, junto con las ideas transmitidas a través de la familia y los medios de comunicación social. Siguiendo el curso de este argumento, llegaríamos a definir la fuente social de las concepciones de los alumnos no sólo a través del lenguaje sino también de otros procesos y estructuras —familia, medios de comunicación, escuela— que organizan la acción social.

Desde nuestro punto de vista, el análisis del origen social de las concepciones inducidas en los alumnos está estrechamente vinculado con los recientes estudios sobre la formación de *representaciones sociales* desarrollados desde la psicología social (Farr y Moscovici 1984). Según esta línea de investigación, las personas interactuamos con el mundo físico y social a través de una serie de representaciones sociales, que serían esquemas o conceptos socialmente generados y compartidos, y constituirían un conocimiento ingenuo o de sentido común. Tal como señala Moscovici (1984) serían algo así como el «sentido común social». Lo que diferenciaría al concepto de representación social de otros conceptos similares sería su vinculación con las estructuras sociales de las que procede (Ibáñez 1988). La investigación sobre las representaciones sociales suele basarse en el uso de encuestas o en el análisis de las producciones sociales (prensa, novelas, películas, televisión, etc.) sobre una determinada área. Pero además de su difusión a través de estos canales, las representaciones sociales se construyen mediante procesos sociocognitivos específicos.

Los primeros estudios de Moscovici, el impulsor de esta área de investigación, estaban relacionados precisamente con la construcción de representaciones sociales sobre la ciencia (en su caso estudió la imagen social del psicoanálisis). Las representaciones sociales tomarían ciertas palabras-conceptos del discurso científico divulgado a través de los medios, asimilándolo al «sentido común social», con lo que desvirtuarían buena parte del significado de los conceptos científicos. Esa asimilación —que

está determinada en buena medida por los procesos cognitivos individuales descritos en el apartado anterior (Páez 1987) supondría normalmente la formación de un «esquema figurativo» o una imagen social, que permitiría objetivar los elementos seleccionados y terminarían por deformar el significado del discurso científico. De esta forma, la producción científica se convierte en producción social o si se prefiere en ideología. En palabras del propio Moscovici (1984, pág. 29): «*contrariamente a lo que se creía en el último siglo, lejos de ser el antídoto para las representaciones y las ideologías, las ciencias generan ahora de hecho esas representaciones... La ciencia se basó en un principio en el sentido común e hizo del sentido común algo poco común; pero ahora el sentido común es ciencia hecha común*».

A pesar de que, en la psicología social, el concepto de representación social es objeto de cierta controversia y de que algunos de los conceptos usados por esta teoría (como representación social, ideología, esquema figurativo) distan de estar claros (Farr y Moscovici 1984, Ibáñez 1988, Páez et al. 1987), el análisis de las concepciones científicas de los alumnos —y de los profesores— como representaciones sociales pueden ayudar a esclarecer el origen social de algunas ideas científicas. La metodología del análisis de las producciones sociales a través de la divulgación científica, escasamente desarrollada hasta la fecha, junto con el estudio del lenguaje cotidiano de los alumnos puede ayudar a profundizar en el origen cultural de esas ideas, además de dotar a la educación científica de la función de establecer —recuperando las palabras de Moscovici— la comprensión de la ciencia a partir de procesos y conceptos alejados del sentido común.

En este intento de fundamentar la naturaleza sociocultural de las concepciones de los alumnos y, en último extremo, la función social de la enseñanza de la ciencia, una referencia obligada es la obra de Vygotskii (1934) sobre las relaciones entre lenguaje y pensamiento, y sobre la adquisición de conceptos científicos. En el contexto de su psicología marxista (Rivière 1985, Wertsch 1985), Vygotskii desarrolló una teoría de la adquisición de conceptos que parte del supuesto, contrario a las ideas de Moscovici, de que la única manera de superar el sentido común —o los conceptos espontáneos— es precisamente la instrucción científica (Pozo 1989). Según este psicólogo soviético, los conceptos espontáneos formados por los niños son en realidad «pseudoconceptos» o categorías vagamente definidas, cuyo significado es impreciso. En una de sus luminosas metáforas, Vygotskii (1934) sostiene que los niños, cuando usan sus conceptos espontáneos, «piensan mediante apellidos», aludiendo a que el significado de los conceptos espontáneos no es preciso sino que sus referentes guardan entre sí sólo un cierto «parecido familiar» (Wittgenstein 1953). En cambio, los conceptos científicos, recibidos a través de la instrucción, tienen un significado preciso y constituyen un tipo de representación diferente.

De esta forma, el paso de los conceptos espontáneos a los científicos no es sólo el «cambio conceptual» de un concepto por otro, sino el paso de una forma de conceptualizar a otra. De hecho, según el propio Vygotskii

(1934) la forma de adquirir o construir uno y otro tipo de conceptos es diferente, ya que en la adquisición de conceptos científicos desempeñan un papel fundamental la organización conceptual y la toma de conciencia (Davydov 1972, Pozo 1989). Estas distintas vías en la formación de conceptos –ascendente o inductiva en el caso de los conceptos espontáneos y descendente o deductiva en el caso de los conceptos científicos– dan lugar a una interacción entre ambos, en la que la instrucción formal –como vehículo de la construcción sociocultural del conocimiento– desempeña un papel fundamental. Vygotskii (1934, pág. 149 de la traducción castellana) resume esta interacción con una nueva metáfora: «*La influencia de los conceptos científicos sobre el desarrollo mental del niño es análoga al efecto del aprendizaje de un idioma extranjero, un proceso consciente y deliberado desde su comienzo. En la lengua nativa los aspectos primitivos del habla se adquieren antes que los complejos... En el aprendizaje de un idioma extranjero las formas superiores se desarrollan antes que las espontáneas y fluidas... Para el niño los puntos fuertes de un idioma extranjero son los débiles en el propio, y viceversa*».

Fiel a su idea de que los procesos cognitivos son un producto de la vida social, reflejada en su ley de la doble formación (Vygotskii 1978), según la cual todos los procesos cognitivos se construyen primero interpersonalmente para luego interiorizarse, y fiel a su creencia de que la «conciencia es contacto social con uno mismo», Vygotskii sitúa el factor sociocultural no sólo como causa de las ideas de los alumnos sino sobre todo como la única vía posible para su superación. Aunque con ello incurra en un cierto «optimismo social» (Piaget 1962), no refrendado en los actuales estudios sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos, que muestran que los conceptos espontáneos de los alumnos son más resistentes al cambio de lo que la teoría vygotskiana suponía, la aportación de Vygotskii puede ser un punto de referencia útil para el estudio del origen social de las ideas de los alumnos. Además, los estudios actuales sobre la formación de categorías naturales o conceptos espontáneos parecen avalar, no sólo entre los niños sino también entre los adultos (Neisser 1987, Rosch y Lloyd 1978, Scholnick 1983), la idea vygotskiana de que la enseñanza de la ciencia implica un cambio en la forma de comprender o conceptualizar la realidad y no sólo un cambio de un concepto por otro más elaborado, por lo que el cambio conceptual debería entenderse de una manera más global o integral.

Uno de los atractivos educativos de la teoría vygotskiana, frente a otras teorías psicológicas, es sin duda la importancia que concede a la enseñanza como verdadero motor del progreso intelectual a través del aprendizaje. Frente al sujeto un tanto rousseauniano o autosuficiente de Piaget, y frente a ciertas posiciones «progresistas» que resaltan la función conservadora del sistema educativo, Vygotskii defiende que la instrucción formal e informal son las únicas vías posibles para acceder al conocimiento científico, y en último extremo para interiorizar la cultura, lo cual no supone la destrucción de un yo original, personal e individual, sino muy al contrario, la propia construcción de la personalidad y de la individualidad en un contexto sociocultural. Sin duda, a pesar de todas las

críticas que recibe y de las limitaciones a que está sometida, la enseñanza de la ciencia proporciona una buena cantidad de conocimientos e ideas a los alumnos. Estas concepciones inducidas por el sistema educativo son, sin embargo, asimiladas por los alumnos a sus concepciones preexistentes, produciéndose diversos tipos de interacción entre el nuevo conocimiento y las concepciones previas (Gilbert, Osborne y Fensham 1982). Una de las vías más útiles para establecer esa conexión entre lo que ya se sabe y lo nuevo es la formación de analogías.

LAS CONCEPCIONES ANÁLOGAS: LA INSTRUCCIÓN A TRAVÉS DE MODELOS

Se discute a veces si los alumnos, o las personas en general, disponemos de concepciones previas sobre cualquier fenómeno o si, por el contrario, hay algunos dominios en los que las personas carecemos de ideas, por lo que podríamos aprender en ellos siguiendo el modelo de *tabula rasa*. Desde el punto de vista de la psicología cognitiva, es imposible comprender algo sin activar alguna idea o esquema en la que asimilar la nueva información, pero ello no significa que dispongamos de ideas específicas para todos los dominios. Lo que solemos hacer ante un dominio nuevo es activar, por analogía o similitud, un esquema o una idea correspondiente a otro dominio que nos sirve para comprender la nueva situación. Aunque no hayan sido estudiados de modo exhaustivo, existe un cierto número de trabajos recientes sobre los procesos, mediante los cuales las personas formamos este tipo de *analogías* (de la Fuente et al. 1989, Holland et al. 1986, Keane 1988, Sierra 1986, Sierra y Froufe 1987), e incluso unos pocos trabajos sobre el uso de las analogías en la comprensión de conceptos científicos (Acevedo 1990, Gentner y Gentner 1983, Sierra y Zaccagnini 1989).

Según Holland et al. (1986, pág. 287), «*la utilidad de una analogía depende del reconocimiento y explotación de alguna similitud significativa entre la situación presente y la fuente de la analogía. Las preguntas fundamentales con respecto a la analogía se refieren de hecho a cómo puede reconocerse esa «similitud significativa»*. Aparentemente, en los estudios sobre formación de analogías se observa que las personas con poco conocimiento en un área tienden a buscar esa similitud en un nivel más superficial –ligado a los aspectos perceptivos o inmediatos de la situación– que estructural o profundo. Estudios sobre categorización de problemas científicos por expertos y novatos muestran que los novatos utilizan criterios superficiales para la categorización, mientras que los expertos utilizan criterios conceptuales, buscando la similitud entre las tareas no en sus rasgos perceptivos sino en los conceptos que requieren para su solución (Chi, Glaser y Rees 1982, Pozo 1989). Un reciente estudio de Holyoak y Koh (1987) sugiere que las analogías basadas en similitudes superficiales, que supuestamente son las más usadas de modo espontáneo por los alumnos, tienen menor capacidad de generalización que las analo-

gías estructurales o conceptuales, por lo que el uso de analogías espontáneas por los alumnos puede tener un efecto limitado sobre su comprensión de la ciencia.

Uno de los recursos didácticos para el cambio conceptual podría ser de hecho el aprovechamiento de la instrucción a través de modelos y analogías. Este uso tendría una doble vertiente (Pozo 1990): proporcionar a los alumnos modelos o analogías ya formadas para la comprensión de dominios nuevos y formarles en la generación espontánea de analogías. En el primer caso —el más común en la didáctica y en la investigación sobre enseñanza de la ciencia (Acevedo 1990, Sierra y Zaccagnini 1989)— se trataría de buscar un esquema o idea ya presente en la mente del alumno —por ejemplo, el modelo orbital de los astros— para aplicarlo, de modo analógico, en un nuevo dominio —la estructura del átomo—. En este caso, es fundamental destacar no sólo la similitud sino también las diferencias, para evitar una transposición literal del modelo. De hecho, este uso didáctico de los modelos suele acarrear a medio plazo errores conceptuales en los alumnos, debido a la dificultad de superar la propia metáfora que supone el modelo (así sucede, por ejemplo, con la analogía entre el circuito eléctrico y una corriente de agua, que favorece la aparición de razonamientos secuenciales).

El segundo uso didáctico de la analogía es más complejo y, aunque existe una buena tradición de estudios de laboratorio sobre la formación espontánea de analogías (Holland et al. 1986, Sierra 1986), apenas hay un desarrollo didáctico de los mismos. Se trataría en este caso no tanto de proporcionar analogías útiles a los alumnos sino de ayudarles a formarlas por sí mismos, de tal forma que la analogía se convierta en una estrategia de aprendizaje (Pozo 1990). Para ello es preciso que el alumno active, de entre sus conocimientos, una idea o concepción que le permita captar los rasgos esenciales de una situación nueva. De hecho, esto es lo que hacen habitualmente los alumnos cuando quieren entender algo, pero lo hacen de un modo no deliberado y basándose muchas veces en rasgos irrelevantes de la situación. Las analogías como estrategia de aprendizaje deberían basarse en modelos generales de amplia aplicación a dominios nuevos. Pero para ello sería preciso que los alumnos dispusiesen entre sus conocimientos científicos de algunos modelos generales que pudieran ser usados analógicamente en dominios nuevos, junto con una cierta dosis de metacognición que les permita controlar sus propios procesos de aprendizaje. La tarea didáctica consistiría, de hecho, no sólo en proporcionarles nuevos conceptos a los alumnos sino también en instruirles en su uso y aplicación a dominios nuevos o conocidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A., 1989. Las interpretaciones de los estudiantes de BUP sobre electrocinética. Ejemplos con circuitos de corriente continua, *Investigación en la Escuela*, 7, pp. 107-115.
- ACEVEDO, J.A., 1990. Concepciones de los alumnos. Implicaciones didácticas. Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía, en *Cambio educativo y desarrollo profesional*. Actas de las VII Jornadas de estudio sobre la Investigación en la Escuela.
- ANDERSSON, B., 1986a. The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 8(2), pp. 155-171.
- ANDERSSON, B., 1986b. Pupils' explanation of some aspects of chemical reactions, *Science Education*, 70(5), pp. 549-565.
- ASENSIO, M., CARRETERO, M. y POZO, J.I., 1989. La comprensión del tiempo histórico, en M. Carretero, J.I. Pozo y M. Asensio (eds.), *La Enseñanza de las Ciencias Sociales*. (Visor: Madrid).
- BADDELEY, A. D., 1976. *The psychology of memory*. (Basic Books: Nueva York). Trad. cast. de M.V. Sebastián y otros, 1983. *Psicología de la memoria*. (Debate: Madrid).
- BADDELEY, A. D., 1982. *Your memory*. (Sidgwick y Jackson: Londres). Trad. cast. de F. Rodríguez Lecea y otros, 1984. *Su memoria: cómo conocerla y dominarla*. (Debate: Madrid).
- BELL, B. y FREYBERG, P., 1985. Language in the science classroom, en R. Osborne y P. Freyberg (eds.), *Learning in science. The implications of children's science*. (Heinemann Educational: Nueva Zelanda).

- BEN-ZVI, R., EYLLON, B. y SILBERSTEIN, J., 1987. Student's visualization of chemical reaction, *Education in chemistry*, 24(4), p. 117.
- CAREY, S., 1985b. Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults?, en S. Chipman, J. Segal y R. Glaser (eds.), *Thinking and learning skills*. (Erlbaum: Hillsdale, New Jersey).
- CHI, M.T.H., GLASER, R. y FARR, M., (eds.) 1988. The nature of expertise. (Erlbaum: Hillsdale, New Jersey).
- CLARK, A., 1987. From folk psychology to naive psychology, *Cognitive Science*, 11, pp. 139-154.
- CLAXTON, G., 1984. *Live and learn*. (Harper y Row: Londres). Trad. cast. de C. González, 1987. *Vivir y aprender*. (Alianza: Madrid).
- DAVYDOV, V.V., 1972. *Vidy obobshchaya le obyrenii*. (Mir: Moscú). 1978. *Tipos de generalización en la enseñanza*. (Pueblo y Educación: La Habana).
- DE LA FUENTE et al., 1989. Similitudes superficiales en solución de problemas por analogía, *Cognitiva*, 2(2), pp. 3-20.
- DE VEGA, M., 1984. *Introducción a la psicología cognitiva*. (Alianza: Madrid).
- DEL BARRIO, C., 1988. El desarrollo de la explicación de los procesos biológicos: cómo entienden los niños la causa de una enfermedad y su curación, *Infancia y Aprendizaje*, 42, pp. 81-95.
- DELVAL, J. A., 1975. El animismo y el pensamiento infantil. (Siglo XXI: Madrid).
- DI SESSA, A., 1983. Phenomenology and the evolution of intuition, en D. Gentner y A.L. Stevens (eds.), *Mental models*. (Erlbaum: Hillsdale, New Jersey).
- DRIVER, R., 1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 3-15.
- DRIVER, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN, A., 1985. *Children's ideas in science*. (Open University Press: Milton Keynes). Trad. cast. de P. Manzano, 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- FARR, R. y MOSCOVICI, S. (eds.), 1984. *Social representation*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- FLETCHER, G., 1984. Psychology and common sense, *American Psychologist*, 39(3), pp. 203-213.
- FRIEDMAN, W. J. (ed.), 1982. The development psychology of time. (Academic Press: Nueva York).
- GABEL, D. L., SAMUEL, K. V. y HUNN, D., 1987. Understanding the particulate nature of matter, *Journal of Chemical Education*, 64 (8), p. 695.
- GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A., 1986. La historia de las ciencias: Una herramienta para la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), pp. 253-258.
- GARCÍA, J.E., LLEDÓ, A., PEDRINACI, E. y GARCÍA, S., 1990. Concepciones de los alumnos sobre el concepto de interacción biológica. En: VII Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela. Sevilla.
- GARCÍA MADRUGA, J. A. y CARRETERO, M., 1986. Estrategias en el razonamiento: tareas lógicas y probabilísticas, en H. Peraita (ed.), *Psicología Cognitiva y Ciencia Cognitiva*. (UNED: Madrid).
- GIL, D., 1986. La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas, *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 111-121.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHAM, P. J., 1982. Children's science and its consequences for teaching, *Science Education*, 66(4), pp. 623-633.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G., 1987. *Les origines du Savoir*. (Delachaux et Niestlé: Neuchâtel).
- GUESNE, E., 1985. Light, en R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien. *Children's ideas in science*. (Open University Press: Milton Keynes). Trad. cast. de P. Manzano, 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- GUNSTONE, R. y WATTS, M., 1989. Force and motion, en R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (eds.), *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano, 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., 1988. La ciencia de los alumnos. (Laia/MEC: Barcelona).
- HOLLAND, J. M., HOLYOAK, K. J., NISBETT, R. E. y THAGARD, P. R., 1986. Induction. Processes of inference, learning and discovery. (The MIT Press: Cambridge, Mass.).
- HOLYOAK, K. M. y KOH, K., 1987. Surface and structural similarity in analogical transfer, *Memory and Cognition*, 15(4), pp. 332-340.
- IBÁÑEZ, T. (ed.), 1988. *Ideologías de la vida cotidiana*. (Sendai: Barcelona).
- INHELDER, B. y PIAGET, J., 1955. De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent. (P.U.F.: París). Trad. cast. de M. T. Cevasco, 1972. *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. (Paidós: Buenos Aires).
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. y FERNÁNDEZ, J., 1989. Han sido seleccionados o se han acostumbrado: Ideas de estudiantes de biología sobre la selección natural y consistencia entre ellas, *Infancia y Aprendizaje*, 47, pp. 67-81.
- JOHNSTONE, A. y MOYNIHAN, T. F., 1985. The relationship between performances in word association tests and achievement in Chemistry, *European Journal of Science Education*, 7(1), pp. 57-66.
- KAHNEMAN, D., SLOVIC, P. y TVERSKY, A. (eds.), 1982. Judgement under uncertainty: heuristics and biases. (Cambridge University Press: Cambridge).
- KELLEY, H. H., 1967. Attribution theory in social psychology, en D. Levine (ed.), *Nebraska Symposium on Motivation*. (University Nebraska Press: Lincoln).
- KUHN, D., 1979. The application of Piaget's theory of cognitive development to education. Harvard Educational Review. *Monografía de Infancia y Aprendizaje*. 1981.
- LESSER, R. y PAISNER, M., 1985. Magical thinking in formal operational adults, *Human development*, 28, pp. 57-70.
- LEVIN, I. y ZAKAY, R. (eds.), 1989. *Time and Human Cognition: a life perspective*. (Holland Publ.: Amsterdam).
- LLORENS, J. A. (en prensa). *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*.

- je. (Visor: Madrid).
- LLORENS, J. A., DE JAIME, M. C. y LLOPIS, R., 1989. La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 111-119.
- LLORENS, J. A. y JAIME, M. C., 1987. El medio cultural y la formación de los conceptos científicos: una aproximación lingüística, *Infancia y Aprendizaje*, 39-40, pp. 47-55.
- LÓPEZ CEREZO, J. A., 1989. El caso contra la psicología popular. *Cognitiva*, 2(3), pp. 227-242.
- LYNCH, P. P., 1985. The recognition of concept definitions: A comparison between hindi speaking students in India and english speaking students in Australia, *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), pp. 675-686.
- MOSCOVICI, S., 1984. The phenomenon of social representations, in R. M. Farr y S. Moscovici (eds.), *Social representations*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- NEISSER, U., 1987. *Concepts and conceptual development*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- NISBETT, R. y ROSS, L., 1980. Human inference: strategies and shortcomings of social judgment. (Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey).
- NUSSBAUM, J., DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A., 1985. The particulate nature of matter in the gaseous phase. Children's ideas in science. (Open University Press: Milton Keynes). Trad. cast. de P. Manzano, 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- PÁEZ, D. et al., 1987. *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social*. (Fundamentos: Madrid).
- PÁEZ, D., VILLARREAL, M., ETXEBERRÍA, A. y VALENCIA, J., 1987. Cognición Social: Esquema y función cognitiva aplicada al mundo social, en D. Páez. (eds.), *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social*. (Editorial Fundamentos: Madrid).
- PÉREZ ECHEVERRÍA, P., 1989. *Proyecto Docente en Razonamiento y Solución de Problemas*. (Facultad de Psicología: Universidad Autónoma de Madrid).
- PÉREZ ECHEVERRÍA, P. (en prensa) *Psicología del razonamiento probabilístico*. (Servicio de Publicaciones de la U.A.M.: Madrid).
- PIAGET, J., 1946. Le développement de la notion du temps chez l'enfant. (PUF: París) 1978. El desarrollo de la noción de tiempo en el niño. (F.C.E.: México).
- PIAGET, J., 1962. Comentarios sobre las observaciones críticas de Vygotski. Apéndice a la edición inglesa de L.S. Vygotski, *Pensamiento y Lenguaje*. (La Pléyade: Buenos Aires).
- PIAGET, J. y GARCÍA, R., 1971. *Les explications causales*. (PUF: París). Trad. cast. de R. Póliga, 1973. Las explicaciones causales. (Barral: Barcelona).
- POZO, J. I., 1985. *El niño y la historia*. (MEC: Madrid).
- POZO, J. I., 1987a. Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal. (Visor: Madrid).
- POZO, J. I., 1987b. La Historia se repite: las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad, *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 69-87.
- POZO, J. I., 1989. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. (Morata: Madrid).
- POZO, J. I., 1990. Una nueva forma de aprender, *Cuadernos de pedagogía*, 180, pp. 24-27.
- POZO, J. I., ASENSIO, M. y CARRETERO, M., 1986. ¿Por qué prospera un país? Un análisis cognitivo de las explicaciones en historia, *Infancia y Aprendizaje*, 34, pp. 23-41.
- 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, pp. 35-52.
- POZO, J. I. y CARRETERO, M., 1989. Las explicaciones causales de expertos y novatos en Historia, *La enseñanza de las ciencias sociales*.
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A., LIMÓN, M. y SANZ SERRANO, A., 1990. *Bases psicopedagógicas para la elaboración de un currículo en Ciencias: Química*. Universidad Autónoma de Madrid: Facultad de Psicología.
- RIVIÈRE, A., 1985. *La psicología de Vigotski*. (Visor: Madrid).
- RODRIGO, M. J., 1985. Las teorías implícitas en el conocimiento social, *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, pp. 145-156.
- ROSCHE, E., 1978. Principles of categorization, en E. Rosch y B. Lloyd (eds.), *Cognition and categorization*. (Hillsdale, Erlbaum: New York).
- ROSCHE, E. y LLOYD, B.B. (eds.), 1978. *Cognition and categorization*. (Erlbaum: Hillsdale, New York).
- SCHOLNICK, E.K., 1983. New trends in conceptual representation: challenges to Piaget's theory? (Hillsdale, Erlbaum: New York).
- SCHOLUM, B. y OSBORNE, R., 1985. Relating the new to the familiar, en R. Osborne y P. Freyberg (eds.) *Learning in Science: The implications of children's science*. (Heinemann Educational: Nueva Zelanda).
- SÉRÉ, M.G., 1985. The gaseous state, en R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien. *Children's ideas in science*. (Milton Keynes: Open University Press). Trad. cast. de P. Manzano, 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- SERRANO, T. y BLANCO, A., 1988. *Las ideas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias*. (Narcea: Madrid).
- SIERRA, B., 1986. Inducción y transferencia analógica de esquemas, *Conocimiento y Acción*, 1, pp. 23-60.
- SIERRA, B. y FROUFE, M., 1987. Incidencia de las representaciones gráficas en la solución de problemas por analogía. *Estudios de Psicología*, 29-30, pp. 31-44.
- SIERRA, B. y ZACCAGNINI, J. L., 1989. *Aprendizaje por analogía con esquema de conocimiento: una aplicación para la formación*. (Informe inédito). (Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología de la U.A.M.).
- SMEDSLUND, J., 1982. Revising explications of common sense through dialogue: Thirty six psychological theorems, *Scandinavian Journal of Psychology*, 23, pp. 299-305.
- SOLOMON, J., 1987. Social Influences on the Construction of pupil's understanding of science, *Studies in Science Education*, 14, pp. 63-82.
- STICH, S., 1983. *From folk psychology to cognitive science*. (Bradford: MIT Press).
- TULVING, E., 1983. *Elements of episodic memory*. (Oxford University Press: Londres).

- TVERSKY, A. y KAHNEMAN, D., 1974. *Judgements under uncertainty: heuristics and biases*. Trad. cast. de J. I. Pozo, 1984, en: *Lecturas de psicología del pensamiento*. (Alianza: Madrid).
- VALSINER, J., 1985. Common sense and psychological theories: the historical nature of logical necessity, *Scandinavian Journal of Psychology*, 96, pp. 97-109.
- VÁZQUEZ, C., 1985. Limitaciones y sesgos en el procesamiento de la información: más allá de la teoría del «hombre como científico», *Estudios de Psicología*, 23-24, pp. 11-133.
- VIENNOT, L., 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1, pp. 205-221.
- VYGOTSKI, L.S., 1934. *Myshlenie i rech.* Trad. cast. de M. M. Rotger, 1977. *Pensamiento y Lenguaje*. (La Pléyade: Buenos Aires).
- VYGOTSKI, L. S., 1978. *Mind in society. The development of higher psychological process*. (Harvard University Press: Cambridge, Ma). Trad. cast. de S. Furió, 1979. *El desarrollo de los procesos psicológicos*. (Crítica: Barcelona).
- WERTSCH, J.V., 1985. *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. (Cambridge University Press: Cambridge, Ma), 1988. *Cultura, comunicación y cognición*. (Paidós: Barcelona).
- WISER, M., 1988. The differentiation of heat and temperature: history of science and novice-expert shift, en S. Strauss (ed. *Ontogeny, phylogeny and historical development*. (Ablex Publishing Corporation: Norwood, N. Jersey).
- WITTGENSTEIN, L., 1953. *Philosophical investigations*. (Mcmillan: Nueva York).