

Significado y sentido en el aprendizaje de la ciencia¹

Juan Ignacio Pozo²

Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid

Miguel Ángel Gómez Crespo

Instituto de Educación Secundaria «Victoria Kent»

Torrejón de Ardoz, Madrid

Yo siempre tuve cuerpo y mis padres también, y mis hermanos, así como la gente con la que fui al colegio, o a la universidad. Más tarde, en los sucesivos trabajos con los que me gané la vida, sólo conocí a individuos corporales, por eso me choca que hablemos de él como si se tratara de una adquisición reciente, cuando lo cierto es que ya en la antigüedad prehistórica nuestros abuelos se desenvolvían con cuerpos que en lo sustancial no eran muy distintos de los actuales.

Juan José Millás. Cuerpo y prótesis.

Resumen

La investigación realizada en las últimas décadas sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia ha mostrado la resistencia al cambio de las «ideas previas» de los alumnos. En este trabajo se sostiene que esa resistencia tiene en parte su origen en la naturaleza cognitiva de la ciencia intuitiva de los alumnos. Apoyándose en los recientes desarrollos de la investigación cognitiva, que alejan los estudios representacionales

de los clásicos modelos proposicionales, el trabajo sostiene que esas representaciones previas deben analizarse no sólo como unidades de significado lógico sino sobre todo como unidades con «sentido», ya que tendrían en su origen una naturaleza encarnada, respondiendo a las restricciones que el propio cuerpo impone a la representación del mundo. De esta forma, el aprendizaje de la ciencia requeriría un verdadero cambio representacional. Para lograr el aprendizaje significativo de

¹ Este artículo forma parte de una investigación realizada dentro del Proyecto SEJ2006-15639-C02-01/EDUC del Plan Nacional I+D+ del Ministerio de Educación y Ciencia de España, cuya investigadora Principal es María del Puy Pérez Echeverría.

² Dirección de contacto: Departamento de Psicología Básica. Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. O también, nacho.pozo@uam.es.

nuevos conceptos científicos sería necesaria previamente la construcción, a partir de esas representaciones primarias y encarnadas, de nuevos formatos y sistemas representacionales que hagan posible la comprensión de los nuevos significados de los conceptos científicos.

Palabras-clave

Ideas previas; representaciones proposicionales, aprendizaje significativo, representaciones encarnadas, cambio conceptual, cambio representacional.

Abstract

Recent research on science learning and teaching has shown pervasively the resistance to the change of the students' «previous ideas». In this work we maintain that this resistance has in part its origin in the cognitive nature of the students' intuitive science. Starting from the recent trends in cognitive science, that move away the representational studies from the classic propositional models, the paper maintains that those previous representations must be analyzed not only in terms of their logical meaning but mostly as units with «sense», since they would have in his origin an embodied nature, responding to the constraints that our body imposes to the representation of the world. As a consequence, in order to achieve the meaningful learning, science learning would require a true representational change, as students would need to construct, from those primary and embodied representations, new representational formats and systems that allow them to

understand the meaning of those scientific concepts.

Keywords

Previous Ideas; propositional representations; meaningful learning; embodiment; conceptual change; representational change

El reto de la alfabetización científica

La investigación realizada en las últimas tres décadas sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia en diferentes niveles educativos y en áreas del currículo bien diversas ha acumulado un conjunto de datos que empieza a ser ya muy difícil de abarcar (aunque hay excelente intentos, como la web sobre «ideas previas» en ciencia desarrollada y mantenida por el grupo de Fernando Flores y Leticia Gallegos en la UNAM)³ y por supuesto de resumir, pero que en conjunto puede sintetizarse en dos grandes *noticias*, como en los chistes, una buena y una mala. Y como en los chistes, podemos empezar por la *buena* noticia, y es que, sin necesidad de estudiar ciencia, todos nosotros, ya desde la cuna, somos *científicos intuitivos*, podemos predecir con una precisión asombrosa cómo se mueven los objetos o de qué forma hay que agarrarlos para desplazarlos. Tenemos también ideas muy arraigadas sobre cómo funcionan los organismos y lo que necesitan para sobrevivir. E incluso somos capaces de estimar con notable precisión la probabilidad de que ciertos fenómenos

³ <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx.2048>.

ocurran a partir de nuestra experiencia previa. Así que la buena noticia proporcionada por la investigación reciente es que todos nosotros, sin necesidad de estudiar ciencia, somos, en general, excelentes físicos, biólogos, psicólogos ¡e incluso matemáticos intuitivos! ¡Y además lo somos sin saber que lo somos! Esa es la buena noticia. Ahora viene la mala: y es que la mayor parte de nosotros tenemos notables dificultades para aprender física, biología, o psicología, por no decir matemáticas. Es más. La mayor parte de las personas tras estudiar esas ciencias no las aprenden o al menos no son capaces de usar los conocimientos y las formas de pensar de esas ciencias para resolver sencillos problemas cotidianos. En lugar de ello recurren a esa otra ciencia intuitiva, la que llevan consigo desde la cuna, o tal vez incluso como parte del «equipo cognitivo de serie» con el que llegamos a este mundo (Pozo, 2003; Pozo y Gómez Crespo, 2002).

Pero esas ideas o «conocimientos previos» de los alumnos, además de estar fuertemente arraigadas, como veremos en la estructura cognitiva, resultan muy difíciles de cambiar incluso tras varios años de instrucción científica, hasta el punto de que incluso siguen presentes en muchos alumnos que están estudiando ciencias en la propia universidad (por ej., Gómez Crespo y Pozo, 2000, 2001; Pozo y Gómez Crespo, 2005). De hecho, en el ámbito de la educación formal, ni siquiera los esfuerzos por innovar y generar nuevas formas de enseñar ciencia han obtenido resultados muy esperanzadores en su propósito de favorecer una comprensión o un aprendizaje significativo. La investigación en didáctica de la ciencia realizada en estos últimos años, dirigida en gran medida a lograr esa comprensión mediante un cambio de los conocimientos previos de los alumnos, intentando sustituir

su conocimiento popular por conocimiento verdaderamente científico, ha obtenido frutos más modestos de lo esperado. Gran parte de la investigación realizada en estos años, y de los modelos didácticos desarrollados a partir de ella, ha estado dedicada a intentar promover, sin mucho éxito, el llamado *cambio conceptual*. Si los alumnos cuando llegan a las aulas de ciencias disponen de una «ciencia intuitiva», un conjunto de «concepciones alternativas», uno de los objetivos de la educación científica, si quiere hacer comprensible la ciencia, sería cambiar esas concepciones en favor del saber científico establecido. Pero no es que este objetivo no se haya alcanzado plenamente, sino que, ni los datos empíricos de las investigaciones (Duit, 1999) ni los supuestos teóricos en que estas se asientan (por ej., Chi, 2005; Flores, 2004; Pozo, 2007b) permiten ser demasiado optimistas en que ese aprendizaje significativo pueda lograrse mediante el cambio o sustitución de unos sistemas de conocimiento por otros.

Una razón de esta dificultad para lograr que la mayor parte de los alumnos comprendan los conocimientos científicos que se les enseñan es su falta de compatibilidad y correspondencia con la organización cognitiva de la mente humana (Sperber, 1996). Asumiendo la metáfora de la epidemiología de las representaciones (*«la mente humana es susceptible a las representaciones culturales de la misma forma que el organismo humano lo es a las enfermedades»* según Sperber 1996, pág. 59 de la trad. cast.), podríamos decir que en cierto modo la mente humana dispondría entre los recursos de su *equipo cognitivo de serie* (Pozo 2001; Pozo y Gómez Crespo 2002) de un auténtico *sistema cognitivo inmunológico*, que nos previene o vacuna contra ciertos contagios representacionales inconvenientes o innecesarios, entre ellos aparente-

mente el del conocimiento científico, de forma que conceptos, ideas e incluso preguntas que tienen *significado* en el marco del conocimiento científico, carecen de *sentido* desde el punto de vista del funcionamiento natural o intuitivo de nuestra mente.

En este trabajo vamos a sostener la idea de que para lograr una verdadera comprensión de la ciencia en el marco de un proyecto *alfabetizador*—cuya meta es la distribución social, entre todos los ciudadanos, de formas de pensar y conocer el mundo que hasta hace poco eran exclusivas de «comunidades epistemológicas» muy reducidas (Pozo, 2007a)—, no basta con presentar el conocimiento científico como algo con *significado*, es decir como un sistema lógicamente relacionado de saberes, sino que es preciso que ese conocimiento tenga *sentido*, es decir, pueda ser vinculado a la experiencia fenomenológica de nuestros *sentidos*, de forma que en lugar de sustituir a las formas intuitivas de conocimiento, ayude a reconstruirlas y con ellas ayude también a reconstruir nuestra propia experiencia o *sentido* del mundo en que vivimos. En otras palabras, si queremos todos los ciudadanos puedan acceder, de forma significativa a los conocimientos científicos, es preciso que ese conocimiento tenga sentido para ellos, pueda vincularse a su experiencia cotidiana con el mundo físico o natural, para lo cual es preciso de algún modo *reformatear* esas mentes, generar en ellas nuevas posibilidades representacionales, verdaderas prótesis cognitivas (Pozo y Gómez Crespo, 2002), sin las cuales el conocimiento científico probablemente es inconcebible. Parece difícil no tanto que eso pueda lograrse, sino sobre todo que pueda generalizarse a todos los ciudadanos. Tal vez este propósito, como en realidad sucede con todos los esfuerzos de alfabetización, sea demasiado ambicioso y

nunca se logre plenamente. Pero lo que sí podemos ambicionar y desear es, a la inversa, que la educación científica, se convierta en una herramienta social para generar nuevas capacidades representacionales en los ciudadanos (Pozo, 2007a), para promover, más allá del cambio conceptual, un *cambio representacional* (Pozo y Rodrigo 2001) que haga posible nuevas formas de conocimiento, que nos permitan no sólo comprender el mundo físico o natural de otra manera, sino también vivirlo o sentirlo de formas nuevas, representacionalmente más potentes.

La naturaleza cognitiva de nuestra ciencia intuitiva

La cultura científica que se intenta enseñar a los alumnos en ese proceso alfabetizador es un producto cultural e histórico cuya naturaleza obviamente no vamos a intentar desentrañar aquí. Aunque es sin duda un producto del funcionamiento cognitivo humano, y por tanto está sujeto a algunas de sus limitaciones y se aleja con frecuencia de los supuestos de racionalidad y logicismo que con frecuencia se le atribuyen, el conocimiento científico se genera, distribuye y reformula en el marco de comunidades de saber cuya organización social y cuyos recursos teóricos y tecnológicos permiten superar o trascender algunas de las limitaciones o restricciones que impone la mente humana a la representación del mundo. En cambio esas mismas *restricciones* dejan marcas mucho más fáciles de detectar en nuestra ciencia intuitiva, que es uno de los productos representacionales más característicos del funcionamiento cognitivo humano y como tal ha sido objeto de numerosas investigaciones dirigidas no

tanto a mejorar la enseñanza de la ciencia, sino a entender la propia naturaleza cognitiva de la mente humana. Casi todos los grandes psicólogos cognitivos, desde Piaget, Vygotsky, Wertheimer, o más recientemente Herbert Simon y Daniel Kahneman, los dos únicos investigadores en psicología que han obtenido el premio Nobel, se han acercado al pensamiento matemático y científico como una vía preferente para entender el funcionamiento de la mente humana. Y ese acercamiento ha ido ofreciendo una visión cada vez más alejada de una compatibilidad entre la actividad científica y el funcionamiento cognitivo.

La investigación acumulada en las últimas décadas desde la psicología cognitiva nos ofrece un retrato de la mente humana como un dispositivo de recursos y racionalidad limitada (Simon, 1972; Newell y Simon, 1972), en el que los «programas» o formas de pensar propias de la ciencia, con sus requisitos de rigor, precisión y ausencia de ambigüedad conceptual, o definición intencional o lógica de los conceptos, «corren» mal (Pozo, 1989), en el que las formas características del razonamiento humano se alejan cada vez más de la lógica formal desde la que Inhelder y Piaget (1955) definían el llamado «pensamiento formal», constituyéndose más bien en sistemas de razonamiento intuitivo (Hogarth, 2001) o heurístico (Kahneman, 2000; también Gi-

lovich, 2002) muy alejados de las exigencias de la lógica binaria, cuya mayor ventaja cognitiva suele ser, al contrario de lo que sucede canónicamente con el pensamiento científico, ofrecernos respuestas sin necesidad de explorar ni agotar el espacio del problema, incluso sin necesidad de llegar a formular con precisión la pregunta antes de obtener la respuesta.

Pero junto a este modo de funcionamiento cognitivo defectivo —nuestro equipo cognitivo de serie, que se activa por defecto— basado más en la intuición que en la razón, por así decirlo, o, como veremos más adelante en procesos cognitivos implícitos más que explícitos (Pozo, 2002, 2003), nuestro sistema cognitivo se apoya también en un tipo de *representaciones* características. ¿Cuál es la naturaleza de esas representaciones? En el marco de la psicología cognitiva ha habido numerosos debates o controversias sobre la naturaleza de esas representaciones y, en definitiva, de la propia mente humana. La tabla 1 resume algunos de esos debates en forma de dicotomías, situándolos de algún modo en un eje cronológico, ya que algunos de esos debates son herederos de los anteriores.

No hay opción de analizar aquí cada uno de esos debates (véase Pozo 2001, cap. 2). Sin embargo, en cada uno de

Tabla 1. Debates sobre las representaciones en la reciente Psicología Cognitiva (tomada de Pozo 2001)

1965-1980	Proposicional	En imágenes
1975-1985	Semántica	Episódica
1975-1985	Declarativa	Procedimental
1980-1990	Esquemas	Modelos mentales
1985-2000	Simbólicas	Distribuidas
1985-2000	Explícita	Implícita
2000- ¿?	Individual	Cultural

ellos, la psicología cognitiva, restringida posiblemente por la metáfora computacional, según la cual la mente humana no es sino un dispositivo de procesamiento de información, ha optado inicialmente por las opciones presentadas en la columna de la izquierda, que refleja en general una mente *proposicional, simbólica, semántica, declarativa, abstracta, explícita e individual*. Sin embargo, poco a poco, y más bien a regañadientes, las investigaciones han ido obligando a los psicólogos cognitivos a aceptar una mente con imágenes, episodios y acciones situadas, pero sobre todo con representaciones distribuidas e implícitas y, por si fuera poco, interpersonal o socialmente distribuida (Pozo 2001). La metáfora de la biblioteca, que durante cierto constituyó un símil creíble de la organización de la memoria humana, ha sido sustituida por la imagen de una nebulosa. Como señalara Rivière (1991, pág. 227) refiriéndose a la imagen de la mente proyectada por la psicología cognitiva, «*se acerca cada vez más a la metáfora de la nube, y cuestiona la del reloj: se asemeja más al aspecto pluriforme y difuso de los sistemas complejos que al perfil neto de los sistemas deterministas clásicos*».

Los supuestos representacionales de la investigación sobre el aprendizaje de la ciencia

Esa mente, crecientemente caótica y difusa, compuesta por muchos sistemas de representación, de naturaleza no necesariamente simbólica o explícita, que interactúan entre sí es también una mente muy distinta de la que subyace a los enfoques más clásicos, tanto de aprendizaje significativo (Ausubel, No-

vak y Hanesian, 1978; Novak y Gowin, 1984) como del cambio conceptual en enseñanza de la ciencia (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Posner *et al.*, 1982; Strike y Posner, 1992). Aunque la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel resulta mucho más compleja que la imagen que suele reflejarse de ella, y aunque pueda abrirse a nuevos formatos representacionales (por ej., Moreira, 2000), especialmente a partir de la distinción entre el significado lógico y el significado psicológico en la teoría ausubeliana, la orientación del aprendizaje significativo hacia un aprendizaje proposicional, o la búsqueda de ese aprendizaje significativo mediante el diseño instruccional de mapas conceptuales (que se basan en «*representar relaciones significativas entre conceptos en forma de proposiciones*» según Novak y Gowin, 1994, pág. 33 de la trad. cast.), tienden a reflejar una concepción del significado más cercana a la columna de la derecha que a la columna de la izquierda en la tabla 1.

En el caso de la investigación sobre las ideas o conocimientos previos, y su cambio conceptual a través de la instrucción, en general se ha hecho muy poco esfuerzo por indagar en la naturaleza cognitiva de las representaciones que estudiaba, que quedaban fácilmente *naturalizadas*, convertidas en objetos casi tangibles al salir a la luz como consecuencia de esas investigaciones (Pozo 1993). Pero en general, en el estudio de esos «preconceptos» o «ideas previas» de los alumnos ha tendido a asumirse también la naturaleza proposicional o simbólica de esas representaciones previas de las que era necesario partir para cambiarlas, un supuesto compartido entre el enfoque del aprendizaje significativo y los modelos de cambio conceptual, si bien los supuestos teóricos para ese cambio de ideas o los recursos instruccionales defendidos difieren en cada caso.

Sin embargo lo que estaría a la base representacional de las llamadas «concepciones alternativas» o «ciencia intuitiva» de los alumnos serían *categorías* más que *conceptos*. Mientras que un concepto se define a través de su relación intencional con otros conceptos —en el marco de una red de proposiciones, como muestran los desarrollos de la propia teoría del aprendizaje significativo o los clásicos modelos de memoria semántica en la psicología cognitiva— una categoría tiene más bien una definición extensional, ya que es más bien una clase a la que pueden pertenecer con mayor o menor certeza diferentes objetos o entidades en función de sus atributos. Un ejemplo simple sería nuestra representación de los colores, que responde más a la estructura de una categoría que a la definición lógica de un concepto. Categorizamos un objeto como rojo o verde con facilidad, intuitivamente, sin que podamos definir con precisión el significado de «lo rojo» o «lo verde». Podemos decir que nuestras representaciones intuitivas nos proporcionan un *sentido* de «lo rojo» o lo «verde», aunque tales categorías tengan un *significado* dudoso, o difícilmente definible, para nosotros, como si pueden tenerlo para un físico, para un pintor, o en último extremo para un sistema óptico computacional, como una cámara digital, o para nuestro propio sistema perceptivo, que tienen parámetros precisos para la definición «lógica» de los colores. Algo similar a lo que sucede con nuestra representación del color, sucede con el resto de las representaciones que constituyen lo que podríamos llamar nuestra ciencia intuitiva, o en un sentido más preciso, nuestra física intuitiva, si entendemos por tal la representación intuitiva de los objetos o entidades físicas en un sentido amplio (Pozo, 2003).

En suma, los propios modelos desde los que debemos interpretar esas concep-

ciones alternativas deben variar a medida que varía la imagen de la mente humana que nos ofrece la psicología cognitiva. Es fácil ver que las representaciones situadas en la columna izquierda se hallan más cercanas, en sus supuestos y en sus procesos, al conocimiento científico, tal como ha sido desarrollado en nuestra cultura (un conocimiento esencialmente abstracto o proposicional, reducible a códigos discretos, es decir computable, consistente en reglas simbólicas, traducidas en esquemas y leyes generales o universales, centrado sobre todo en la acción individual y formulado explícitamente). En cambio, la columna de la derecha, la que supuestamente se asemeja más al modo intuitivo en que funciona nuestra mente (Pozo 2001), refleja un tipo de representaciones difícilmente compatibles con ese conocimiento científico (un conocimiento local o situado, dependiente del contexto, ocupado más en los episodios concretos que en las leyes generales, basado sobre todo en imágenes y acciones, es decir de naturaleza sensoriomotora, en gran medida implícito y socialmente distribuido). La representación intuitiva de la cantidad, tanto la nuestra como la de los bebés o incluso la de otros animales (por ej., Hauser, 2000; Pérez Echeverría y Scheuer, 2005), es más bien la de una categoría difusa que la de un competo, al igual que posiblemente ocurre con nuestro concepto de fuerza, de calor o de movimiento.

Toda nuestra física intuitiva se apoyaría en representaciones que tendrían para nosotros más sentido que significado, ya que esas representaciones tienen una naturaleza profundamente «encarnada» (*embodied*) (Pozo, 2001, 2003; Pozo y Gómez Crespo, 2005), son en su suma la forma en que nuestro cuerpo siente o nos informa de los cambios que se producen en el mundo físico en que vivimos, siguiendo la feliz idea de Damasio (1994).

La naturaleza encarnada de nuestra ciencia intuitiva

Nuestra física intuitiva está profundamente encarnada en nuestra mente, ya que no tenemos una relación directa con los objetos del mundo sino a través de la información que nuestro cuerpo nos ofrece de ellos. Como ha señalado Antonio Damasio (1994) en su libro *El error de Descartes*, un brillante y sugerente alegato contra el dualismo, no podemos percibir el mundo sino *los cambios que el mundo produce en nosotros*. Este sería el origen y fundamento de nuestras representaciones implícitas, o si se quiere de nuestro conocimiento intuitivo: sería la forma encarnada en que nuestro cuerpo se representa el mundo físico y social en que vivimos. Pero, dado que ese cuerpo es a su vez el resultado de la presión selectiva de un ambiente con características físicas muy definidas, no es extraño que ya desde la cuna las personas tengamos fuertes creencias implícitas sobre ese mundo físico que, dada su historia de éxitos evolutivos y personales, van a resultar muy difíciles de modificar por la instrucción científica.

Gopnik, Meltzoff y Kuhl (1999), en su sugerente libro sobre la ciencia de los niños, ya desde la cuna, sugieren una buena forma de pensar en esos principios que subyacen a nuestras representaciones implícitas sobre el mundo físico. Pensemos en una sesión de magia. Un hábil prestidigitador sostiene un pañuelo extendido ante nosotros, hace con él una bola que aprieta entre sus manos, acerca éstas a su pecho y de pronto de entre ellas surge un bastón; el pañuelo no sólo ha desaparecido sino que se ha convertido en un bastón, que a su vez luego se transforma en una chistera, que con un golpe de su varita mágica pasa

a ser un sombrero cordobés, que de pronto cambia de color. Lo que hace fascinante a la magia es que produce *sucesos imposibles*, que violan algunas de nuestras creencias básicas sobre el mundo, en este caso de las creencias en que se sustenta nuestra física intuitiva, en el sentido amplio de nuestra representación intuitiva del mundo material. De acuerdo con los principios que restringen esa física intuitiva, los objetos no cambian de repente de apariencia física o de color, no desaparecen ni se mueven sin que otro objeto actúe sobre ellos. Cualquiera de estos hechos viola un principio de nuestra física intuitiva y por eso es mágico. No son sucesos improbables, como los que pueda producir un malabarista o un saltimbanqui. Son simplemente *sucesos imposibles* porque violan uno de esos compromisos sobre los que están sustentadas de forma natural o necesaria nuestras teorías sobre el mundo físico. Y eso es lo que hace fascinante a la magia: *sabemos* que no son sucesos reales, que hay *truco*.

De hecho, gran parte de la investigación sobre la física intuitiva de los bebés (por ej., Baillargeon, Kotovsky y Needham, 1995; Leslie, 1995; Spelke, 1994; Spelke, Phillips y Woodward, 1995) y recientemente de los primates (por ej., Hood, Hauser, Anderson y Santos, 1999; Povinelli, 2000), ha recurrido a este tipo de sesiones de «magia experimental», en las que el investigador se convierte en mago y produce uno de esos sucesos imposibles (por ej., un objeto que desaparece súbitamente tras una pantalla y ya no está cuando esta se retira: una violación de la «permanencia del objeto» piagetiana, una de las nociones básicas de nuestra física intuitiva), con el fin comprobar -midiendo por ejemplo el tiempo de fijación de la mirada- el grado en que el sujeto se fascina o sorprende en comparación con otros hechos más o menos esperables.

Gracias a estas investigaciones, se ha descubierto que los bebés de tres meses tienen ya al menos tres principios (cohesión, continuidad y contacto) para representar el mundo físico en el que viven, a los que muy pronto añaden otros, como la inercia o la gravedad (Spelke, 1994). De esta forma los bebés construyen, todos nosotros construimos, una representación estable del mundo físico, basada en la existencia de objetos físicos con propiedades muy definidas. Aquellos «paquetes de energía» de los que, según Schrödinger (1944) está hecha toda la materia, son para nosotros *objetos* tridimensionales, *sólidos* que tienen una unidad o *continuidad* entre sus partes, de forma que tienen existencia individual y pueden contarse (Hauser, 2000). Además ocupan un *espacio* físico que no puede ser ocupado (simultáneamente) por otro objeto, y sólo pueden cambiar ese espacio físico por otro de acuerdo con ciertos principios del *movimiento*. A diferencia de los objetos animados, como las personas o los animales, los objetos inanimados requieren, según los principios de nuestra física intuitiva, que otro objeto actúe sobre ellos, ejerciendo una fuerza, para moverse (por ej., Gelman, Durgin y Kaufman, 1995). Todas las acciones de los objetos tienen su origen en una *causa externa inmediata* (Pozo, 1987; Viennot, 1996; Vosniadou, 1994). Entre los movimientos característicos de los objetos en nuestra física intuitiva estaría un cierto *sentido de la inercia*, eso sí muy diferente de la inercia newtoniana, entendida o *sentida* como un movimiento continuado de la acción de una fuerza (Pozo, 1987; Pozo y Carretero, 1992) y la acción de la *gravedad*, por la que esperamos que los objetos no soportados caigan (Hood *et al.*, 1999; Pozo, 1987; Spelke, 1994), de forma que el peso suele ser en nuestra física intuitiva la causa del comportamiento de los objetos físicos en muchas situaciones, ya sea en su velocidad de

caída o en la fuerza que ejercen sobre otros objetos (Pozo, 1987; Pozo y Carretero, 1992; Viennot, 1996).

En suma, según nuestra física intuitiva el mundo está compuesto de objetos *reales*, sólidos, tridimensionales y contables, que se mueven por la acción de otros objetos y que como tales tienen un carácter «objetivo», asumimos que se regulan por leyes que son independientes de nuestra acción sobre ellos. Sin embargo, este carácter de objetos externos no debe hacernos olvidar que buena parte de esa física intuitiva se sustenta en nuestra propia acción sobre ellos. Como ha señalado Wilson (1998) la mano es una herramienta sumamente poderosa que diferencia al ser humano de otros animales, incluidos en parte nuestros primos los primates. No sólo nos permite actuar sobre el mundo, sino también, como consecuencia de esas acciones, construir nuevas representaciones de los objetos, una nueva física intuitiva, más allá de ciertos universales cognitivos que compartimos, como consecuencia de nuestra propia historia natural, con otras especies: «*Evidentemente, la física elemental estaba implementada en el cerebro y la médula espinal de los mamíferos desde hacía muchísimo tiempo... Pero este cerebro (el humano) habría incorporado una nueva física, una manera nueva de registrar y representar el comportamiento de los objetos que se mueven y cambian bajo el control de la mano*» (Wilson, 1998, pág. 71 de la trad. cast.).

Esta idea de que la física intuitiva de los bebés, y la de todos nosotros por supuesto, esté mediada por la forma en que actuamos sobre el mundo, de que sea una *representación* más que una mera representación (Pozo, 2003), es una clara ilustración de esa naturaleza *encarnada* de nuestra física intuitiva, en la que el sentido (del cuerpo) prevale

con frecuencia sobre el significado (lógico) de nuestras representaciones/acciones en el mundo. Y este es un hecho olvidado por la mayor parte de la investigación en didáctica de la ciencia y, más específicamente, de los estudios dirigidos a promover un cambio conceptual y/o metodológico a partir de la ciencia intuitiva de los alumnos. Como veíamos antes, nuestra ciencia intuitiva es la respuesta de nuestro *cuerpo* a los problemas «físicos» a que se enfrenta. Nuestra física intuitiva está profundamente *encarnada* en nuestra mente (Pozo, 2001, 2003; Pozo y Gómez Crespo, 2005), ya que no tenemos una relación directa con los objetos del mundo sino, como veíamos, a través de la información que nuestro cuerpo nos ofrece de ellos (Damasio, 1994).

También nuestras concepciones sobre el mundo biológico y geológico tienen un fuerte arraigo corporal. La representación de los fenómenos biológicos tiende a vincularse a la propia experiencia corporal y personal, una vez más al *sentido* del cuerpo. En el dominio biológico, se tenderá a asumir que el fenotipo debe ser igual al genotipo o a aceptar interpretaciones lamarckianas o incluso intencionales con respecto a la selección natural, que son más cercanas a nuestra experiencia personal, porque en los «nichos cognitivos» en los que nosotros vivimos los cambios generacionales *sí* se transmiten a los descendientes y las intenciones *sí* rigen esos cambios. Igualmente, nuestra representación de la salud y de la enfermedad tiene, como no podría ser menos, un fuerte arraigo corpo-

ral. La salud es no estar enfermo, es decir no recibir del cuerpo informaciones alarmantes, por medio de aquellos «marcadores somáticos», sobre cambios inesperados en nuestro organismo. Curarse es en buena medida, desde nuestras representaciones implícitas, eliminar los síntomas, es decir la información procedente de esos marcadores somáticos. Así, si tenemos fiebre sudamos para expulsarla de nuestro cuerpo. O dejaremos de tomar la medicina recomendada por el médico en cuanto desaparezcan los síntomas de la enfermedad (sobre las ideas con respecto a la salud y la enfermedad véase por ejemplo López Manjón, 1996; sobre las creencias biológicas más en general véase Inagaki y Hatano, 2002). A su vez, en el ámbito de la Geología o las Ciencias de la Tierra, las personas —en concreto los alumnos de secundaria, que son los más investigados en este ámbito— tienden a aceptar el catastrofismo geológico, en lugar de un cambio continuo, que no logran percibir y cuya representación requiere un horizonte cronológico enormemente grande, dada la lentitud y la magnitud de esos cambios (Pedrinaci 1998; Pozo 2000).

Vemos por tanto que nuestra ciencia intuitiva —nuestra representación implícita del mundo físico, químico, geológico o biológico, aunque otro tanto podría decirse del mundo psicológico o social, aunque con rasgos en parte diferentes⁴— nos proporciona representaciones implícitas y encarnadas con un alto valor adaptativo, o si se quiere pragmático. Y vemos también que muchas de las predicciones y creencias derivadas de ese

⁴ Sobre el mundo psicológico se sabe hoy que las personas tenemos una *teoría de la mente* muy arraigada desde la que hacemos interpretaciones mentalistas de la conducta de los otros y de nosotros mismos, pero también que todos nosotros —y muy especialmente profesores y alumnos— tenemos teorías implícitas sobre el conocimiento, el aprendizaje y la enseñanza (Pérez Echeverría et al., 2001), de modo que cambiar las formas de enseñar requiere cambiar esas concepciones, también de naturaleza implícita y encarnada (véase Pozo et al., 2006).

conocimiento intuitivo son contrarias al conocimiento científico establecido. ¿Acaso para cualquiera de nosotros, viendo el mundo en el que vivimos, o al menos el mundo en el que nuestros cuerpos nos dice que vivimos, tiene *sentido* asumir que la materia es discontinua, o que los objetos se mueven sin necesidad de ejercer una fuerza sobre ellos, o que los caracteres adquiridos no se transmiten, o que todo, *todo*, el suelo que pisamos y el continente que habitamos está en continuo movimiento? No es de extrañar por tanto, volviendo al argumento inicial, que la educación científica tenga tan poco éxito en lograr una comprensión de los modelos científicos y que sea tan difícil de lograr una *alfabetización científica*, en el sentido de lograr que los ciudadanos usen *la ciencia como una forma de ver, de sentir, el mundo*, ya que esa nueva forma de ver el mundo exige negar la propia intuición.

Pero dado que negar esa intuición —¡que es en buena medida lo que han pretendido los modelos de cambio conceptual basados en la sustitución de unos conocimientos por otros! —sería como negar nuestro propio cuerpo, algo imposible— debemos pensar en otras estrategias que nos hagan posible ir (¡y volver!) del sentido al significado, para lograr que ese ambicioso proyecto de distribuir el conocimiento científico tenga no sólo significado sino también sentido para nuestros alumnos.

Más allá del sentido: la construcción de significados como un proceso de cambio representacional

Aunque la visión que se acaba de presentar sobre el origen y naturaleza en-

carnada de las concepciones de los alumnos pueda parecer muy pesimista con respecto a las posibilidades de que el aprendizaje de la ciencia pueda dar lugar a una verdadera reestructuración mental (¿quién va abandonar su cuerpo en el camino de aprender ciencia?), no creemos que esa consecuencia negativa o pesimista se siga necesariamente de nuestro argumento. Al contrario estamos convencidos de que esa reestructuración es no sólo necesaria, sino posible, y que si bien aprender ciencia implica de alguna forma ir más allá de nuestro equipo cognitivo de serie, que es un extra o añadido cultural que requiere condiciones de instrucción muy precisas, esa reestructuración es posible, siempre y cuando se conciba no como una sustitución de un conocimiento (intuitivo o implícito) por otro (científico o académico) sino más bien como un proceso de *redescripción representacional* (Karmiloff-Smith, 1992) de un conocimiento en otro, o si prefiere de integración jerárquica de una forma de ver el mundo en otra (Pozo, 2002, 2007b; Pozo y Gómez Crespo, 1998)

Para ello, debemos asumir que existen niveles jerárquicos dentro de los sistemas (en este caso de los sistemas de conocimiento), de forma que los niveles inferiores (en este caso, las representaciones encarnadas o nuestro *sentido* del mundo de los objetos) restringen el funcionamiento de los niveles superiores (el conocimiento científico), además de tener un funcionamiento más simple o económico por lo que los sistemas más primitivos suelen ser más robustos y tener una prioridad funcional, según ha mostrado Reber (1993) en relación con el funcionamiento cognitivo implícito (ver también Pozo, 2001). Todo aquello que puede lograrse con el sistema más simple, no necesita la acción del sistema más complejo, de tal manera que el *sentido* tendría prioridad funcional so-

bre el *significado* de nuestras representaciones.

Pero a su vez los niveles superiores reestructuran —o en términos de Karmiloff-Smith (1992) redesciben representacionalmente— a los niveles inferiores, generando nuevas funciones y posibilidades a partir de ellos, de forma que pueden realizar operaciones inicialmente imposibles en el sistema; por tanto la función de los nuevos sistemas, jerárquicamente superiores (en este caso, el conocimiento científico) no es suplir al sistema más antiguo (la ciencia intuitiva o encarnada), sino generar a partir de él nuevas funciones cognitivas, que aumenten la potencia cognitiva del sistema, pero sin renunciar o eliminar aquella eficacia de los sistemas más simples. Se trataría de que, partiendo de las funciones naturales de la mente —según hemos visto de un funcionamiento heurístico o pragmático que se basa en representaciones encarnadas, en categorías más que en conceptos— llegar a construir nuevas competencias o capacidades cognitivas —además de nuevos lenguajes y sistemas de representación— que nos permiten afrontar la realidad con lentes y mentes distintas a las del científico intuitivo. En suma, la educación científica debería servir para añadir nuevas *prótesis cognitivas* (Pozo, 2007a, Pozo y Gómez Crespo, 2002) al funcionamiento cognitivo que permita a los alumnos llegar a nuevos significados y sentidos a los que una mente no alfabetizada científicamente no puede llegar.

Para explicar cómo es posible, desde el punto de vista del funcionamiento mental que las personas podamos adquirir competencias que no formaban parte del equipo cognitivo de serie encarnado o *incorporado* —en el sentido literal de estar ensamblado en un cuerpo que lo restringe, en el doble sentido de limi-

tarlo y hacerlo posible— con el que hemos venido al mundo, podemos recurrir a un trabajo de Klein, Cosmides, Tooby y Chance (2002), en el que distinguen entre las *funciones* de un sistema (aquello para lo que está diseñado) y sus *capacidades* o potencialidades (lo que es capaz de hacer aunque no esté diseñado para ello). La función de un destornillador, para lo que fue diseñado, es obviamente poner y sacar tornillos, pero si la necesidad aprieta un destornillador puede servir como pisapapeles, como martillo, como gancho o soporte. Podemos decir que las funciones de cualquier instrumento son siempre más restringidas y específicas que sus capacidades o potencialidades. Igual sucede, según Klein *et al* (2002), con los procesos y sistemas cognitivos, que son capaces de hacer muchas más cosas de aquellas para las que originalmente fueron diseñadas o seleccionadas. La mente humana no fue *diseñada* para leer ni para escribir, ni para hacer o ver cine o tocar el laúd o jugar al ajedrez. Pero es *capaz* de todo ello si se dota de las competencias adecuadas y con el apoyo de las herramientas culturales y los sistemas de representación precisos para ello. Otro tanto sucedería con el conocimiento científico que requeriría, más allá de la ciencia intuitiva, de aquella *magia* con la que todos nacemos o que adquirimos de modo implícito muy tempranamente, nuevas capacidades cognitivas, contruidas a partir de aquellas funciones «originales».

El conocimiento científico no puede sustituir a otras formas de saber, pero sí puede y debe integrar jerárquicamente a algunas de ellas, redescubriendo (es decir explicando, reconstruyendo en un nuevo marco más complejo que genere nuevos significados) sus predicciones, sus represent/acciones. Para ello hay que abandonar la idea de que esos conocimientos previos son concepciones

erróneas —o *misconceptions*—, el término más utilizado durante muchos años y en su lugar intentar que ese conocimiento científico sirva para dar *sentido* a esas representaciones encarnadas que todos tenemos (la química debe redescubrir ciertos fenómenos de cocina pero sería empobrecedor reducir la cocina a un fenómeno químico; la medicina debe ayudarnos a entender nuestros dolores y reacciones corporales, pero no a abandonarlas; la psicología evolutiva puede ayudarnos a entender cómo aprenden a hablar los niños, pero eso no debe hacernos cambiar la forma de interactuar con ellos: durante siglos los niños han aprendido a hablar sin que nadie supiera explícitamente cómo lo hacían... gracias entre otras cosas a que los padres generan implícitamente escenarios ideales para la adquisición del lenguaje). La función del conocimiento científico es epistémica (entender por qué pasan las cosas) y ello nos ayudará a reestructurar las situaciones cuando las cosas de hecho no vayan bien (cuando la función pragmática de las teorías implícitas fracase) (ver Pozo, 2003)

En suma, más que acumular saberes o sustituir unos por otros, la educación científica debe promover una reflexión o redescubrimiento representacional de unos saberes en otros, en la conciencia de que ciertas formas de conocimiento (científico) tienen mayor potencia representacional —o en el sentido de Lakatos (1978), un exceso de contenido empírico— con respecto a otras formas de conocimiento más simple, que sin embargo tienen una gran funcionalidad cognitiva. Todos seguimos viendo al Sol moverse por el horizonte, aunque en cierto nivel de análisis (jerárquicamente superior) sabemos que no se mueve. La teoría científica puede redescubrir mi experiencia encarnada, sensorial, pero no al revés. Y a su vez, esa teoría científica

puede a su vez ser redescubierta por otra (en realidad ahora sabemos que el Sol sí se mueve con respecto al centro de la Galaxia...).

Por tanto, frente a la idea de que el conocimiento científico debe sustituir al conocimiento cotidiano, el viaje de ida y vuelta del significado al sentido requiere concebir el aprendizaje de la ciencia como una *reconstrucción* de esos sentidos primordiales a través del significado, con tres procesos de aprendizaje aprendizaje interrelacionados (Pozo y Gómez Crespo, 1998):

- Una *reestructuración teórica*: frente a las estructuras simplificadoras del conocimiento cotidiano, basado en reglas asociativas de aprendizaje implícito que se basan en una causalidad lineal, (Pozo, 1997; Pozo y Gómez Crespo, 1998), el conocimiento científico requiere interpretar los fenómenos en términos de relaciones de interacción y conservación dentro de sistemas tendentes a ciertos estados de equilibrio dinámico.
- Una *explicitación progresiva* de las representaciones implícitas de los alumnos así como de las estructuras que a ellos subyacen, en forma de teorías implícitas (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo *et al.*, 2006;) diferenciándolos de las estructuras y modelos utilizados por las teorías científicas. Ello implica no sólo una reflexión o toma de conciencia del alumno sobre sus conocimientos implícitos, sino también el dominio de los lenguajes y sistemas conceptuales que permiten explicitar o redescubrir esos conocimientos en términos de sistemas conceptuales más potentes.
- Una *integración jerárquica* de las diversas formas de conocimiento coti-

diano y científico. Frente al supuesto de que la enseñanza de la ciencia debe estar dirigida a que el alumno abandone su ciencia intuitiva, sus representaciones encarnadas, parece que la función de la instrucción científica debería ser más bien ayudar al alumno a reconstruir y redescubrir sus intuiciones, situándolas en un nuevo y más potente marco conceptual, dándoles un nuevo significado, pero sin abandonarlas, ya que forman parte no sólo de su *sentido* común sino de su acervo cultural.

Entendido así, el aprendizaje de la ciencia no sólo hace necesaria la reestructuración mental sino que, sobre todo, la hace posible. La ciencia sería una construcción cultural que nos permite representarnos el mundo más allá de ese equipamiento cognitivo de serie con el que todos venimos al mundo, nos permite acceder a otros mundos posibles además de al mundo real (tridimensional, mesocósmico, vigente) en el que todos vivimos de una forma encarnada. La ciencia es un lujo cultural que debemos hacer accesible a todo el mundo, porque les abrirá los ojos (de la mente) a un nuevo mundo. Pero, por volver al texto del escritor español Juan José Millás, con el que abríamos este artículo, no debemos pensar que acceder a ese nuevo mundo debe hacernos olvidar lo más propio y cercano que tenemos, nuestro propio cuerpo y la experiencia mental que nos proporciona. Dice Millás: «Entre uno mismo y la realidad se interponen multitud de impurezas: la más grave de ellas es sin duda el cuerpo. No estoy proponiendo que nos despojemos de él (entre otras cosas no sabríamos cómo hacerlo), sino constatando que su espesor nos impide el contacto con todo lo esencial».

No podemos abandonar nuestra experiencia mental personal pero sí pode-

mos enriquecerla accediendo a nuevas representaciones, que al modo de *prótesis cognitivas*, nos permiten acceder a nuevas experiencias cognitivas, construir nuevos mundos representacionales en los que *también* podemos vivir. Pero se trata de unas prótesis cognitivas que deben reconstruir de algún modo nuestras estructuras mentales, deben incorporarse (en el sentido literal del término) para ayudarnos a ver más allá de nuestros límites encarnados. Esa es en nuestra opinión la meta y el reto de la educación científica como proceso alfabetizador: reconstruir nuestro *sentido* común, incorporando ciertos conocimientos culturales especialmente valiosos, que no sólo den nuevos significados al mundo en que vivimos, sino que también nos permiten generar nuevos mundos mentales que tengan no sólo significado sino también sentido para nosotros.

Referencias

- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. Y HANESIAN, H. (1978) *Educational psychology*. 2ª ed. N. York: Holt, Rinehart y Winston. Trad. cast. de M. Sandoval: *Psicología educativa*. México: Trillas, 1983.
- BAILLARGEON, R.; KOTOWSKY, L. Y NEEDHAM, A. (1995) The acquisition of physical knowledge in infancy. En D. Sperber; D. Premack y A.J. Premack (Eds) *Causal cognition. A multidisciplinary debate*. Oxford: Clarendon Press.
- CHI, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.
- DAMASIO, A. (1994) *Descartes's error. Emotion, reason and the human brain*. N.

York: Avon Books. Trad. cast. de J. Ros: *El error de Descartes*. Barcelona: Crítica, 1996.

DRIVER, R.; GUESNE, E. Y TIBERGHEN, A. (Eds.) (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, 1990.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P. y WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary school*. Londres: Routledge. Trad. cast. De M.J. Pozo: *Dando sentido a la ciencia en secundaria*. Madrid: Visor, 1999.

DUIT, R. (1999) Conceptual change. Approaches in science education. En: W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero (eds.) *New Perspectives on conceptual change*. Oxford: Elsevier.

FLORES, F. (2004). El cambio conceptual: Interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15(3), 256 - 269.

GELMAN, R.; DURGIN, F. Y KAUFMAN, L. (1995) Distinguishing between animates and inanimates: not by motion alone. En D. Sperber; D. Premack y A.J. Premack (Eds.) *Causal cognition. A multidisciplinary debate*. Oxford: Clarendon Press.

GILOVICH, T. (2002) *Heuristics and biases the psychology of intuitive judgement*. Cambridge. Mass.: Cambridge Univ. Press

GÓMEZ CRESPO; M.A. Y POZO, J.I. (2000) La comprensión de la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya*, 26, 117-139.

GÓMEZ CRESPO, M.A. Y POZO, J.I. (2001) La consistencia de las teorías sobre la

naturaleza de la materia: Una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), 441-459.

GÓMEZ CRESPO, M. A., & POZO, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1325-1343.

GOPNIK, A.; MELTZOFF, A. Y KUHL, P. (1999) *The scientist in the crib*. N. York: William Morton.

HAUSER, M.C. (2000) *Wild minds*. N.York: Holt and co. Trad. cast. de A. Herrera: *Mentes salvajes*. Barcelona: Granica, 2002.

HOGARTH, R.M. (2001) *Educating intuition*. Chicago: Chicago University Press. Trad. cast. de R. Filella: *Educación la intuición*. Barcelona: Paidós, 2002.

HOOD, B.M ; HAUSER, M.D.; ANDERSON, L. y SANTOS, L. (1999) Gravity biases in a nonhuman primate? *Developmental Science*, 2, 35-41.

INAGAKI, K. Y HATANO, G (2002) *Young children's naive thinking about the biological world*. N. York: The Psychology Press.

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.C.Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972).

KAHNEMAN, D. (Ed.) (2000) *Choices, values, and frames*. Cambridge, Mass.: Cambridge Univ. Press.

KARMILOFF-SMITH, A. (1992) *Beyond modularity*. Cambridge, Massachusetts:

Cambridge University press. Trad. cast. de J.C. Gómez y M. Núñez: *Más allá de la modularidad*, Madrid: Alianza, 1994

KLEIN, S.B.; COSMIDES, L.; TOOBY, J. Y CHANCE, S. (2002) Decisions and the evolution of memory: multiple systems, multiple functions. *Psychological Review*, 109 (2), 306-329.

LAKATOS, I. (1978) *The methodology of scientific research programmes-philosophical papers* Vol.I Ed. de J. Worall y G. Currie: Cambridge University Press. Trad. cast. de J.C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.

LESLIE, A. (1995) A theory of agency. En: D. Sperber; D. Premack y A.J. Premack (Eds.) *Causal cognition. A multidisciplinary debate*. Oxford: Clarendon

LÓPEZ MANJÓN, A. (1996) La teorías intuitivas en Medicina. *Revista de Psicología General y Aplicada*.49, (1), 111-125.

MOREIRA, M.A. (2000) *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Antonio Machado

NEWELL, A Y SIMON, H.A. (1972) *Human problem solving*. Englewood, N. J. Prentice-Hall

NOVAK, J.D. Y GOWIN, B.D. (1984) *Learning to learn*. Cambridge University Press. Trad. cast. de J.M. Campanario y E. Campanario: *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca, 1988.

PEDRINACI, E. (1998) Procesos geológicos internos: entre el fijismo y la Tierra como sistema. *Alambique*, 18, 7-17.

PÉREZ ECHEVERRÍA, M.P.; MATEOS, M.; POZO, J.I. Y SCHEUER, N. (2001) En busca del constructivismo perdido: concepciones implícitas sobre el aprendi-

zaje. *Estudios de Psicología*, 22 (2), 155-173.

PÉREZ ECHEVERRÍA, M. DEL P. Y SCHEUER, N. (2005). Desde el sentido numérico al número con sentido. *Infancia y Aprendizaje*, 28 (4), 393-407

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., & GERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211 - 227.

POVINELLI, D. (2000) *Folk physics for apes*. Oxford: Oxford University Press.

POZO, J.I. (1987) *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.

POZO, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata

POZO, J.I. (1993) Psicología y Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza: ¿concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, 62/63, 187-204.

POZO, J.I. (2000) ¿Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que les enseñamos? El caso de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8 (1), 13-19.

POZO, J.I. (2001) *Humana mente: el mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Morata.

POZO, J.I. (2002) La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Ensino De Ciências*, 7 (3). (http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n3/v7_n3_a1.htm)

POZO, J.I. (2003) *Adquisición del conocimiento: cuando la carne se hace verbo*. Madrid: Morata.

- POZO, J.I. (2007a) ¿Qué puede aportar la educación científica a la mejora de la actividad mental de los alumnos? En: J.M. Sánchez (ed.) *Iniciación a la cultura científica: la formación de maestros*. Madrid: Antonio Machado.
- POZO, J.I. (2007b) Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional. En: J.I. Pozo y F. Flores (Eds.) *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid: Antonio Machado.
- POZO, J.I. Y CARRETERO, M. (1992) Causal theories and reasoning strategies by experts and novices in Mechanics. En: A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (Eds.) *Neopietagietan theories of cognitive development: implications and applications*, London: Routledge Kegan Paul.
- POZO, J.I. Y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata
- POZO, J.I. Y GÓMEZ CRESPO, M.A. (2002) La adquisición de conocimiento científico. ¿una prótesis cognitiva? *Innovación y Ciencia*, X (3/4), 34-43
- POZO, J.I. Y GÓMEZ CRESPO, M.A. (2005) The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23 (3), 351-387.
- POZO, J.I. Y RODRIGO, M.J. (2001) Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), 407-423.
- POZO, J.I.; SCHEUER, N.; PÉREZ ECHEVERRÍA, M.P.; MATEOS, M.; MARTÍN, E. Y DE LA CRUZ, M. (Eds.) (2006) *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje: Las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona: Graó
- REBER, A.S. (1993) *Implicit learning and tacit knowledge*. N.York: Oxford University Press.
- RIVIÈRE, A. (1991) *Objetos con mente*. Madrid: Alianza.
- SCHRÖDINGER E. (1944) *What's life? The physical aspect of living cell*. Cambridge University Press. Trad. Cast. de R. Guerrero: *¿Qué es la vida?* Barcelona: Tusquets, 1983.
- SIMON, H.A. (1972) On the development of the processor. En: S. Farnham-Diggory (ed.) *Information processing in children*. N. York: Academic Press.
- SPELKE, E. (1994) Initial knowledge: six suggestions. *Cognition*, 30, 431-445
- SPELKE, E.; PHILLIPS, A. Y WOODWARD, A.L. (1995) Infant's knowledge of object motion and human action. En: D. Sperber; D. Premack y A.J. Premack (Eds.) *Causal cognition. A multidisciplinary debate*. Oxford: Clarendon Press.
- SPERBER, D. (1996) *Explaining culture: a naturalistic approach*. Oxford: Blackwell. Trad. Cast. De P. Manzano: *Explicar la cultura: un enfoque naturalista*. Madrid: Morata, 2005.
- STRIKE, K. A., & POSNER, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp. 147-176). Albany: State University of New York Press
- VIENNOT, L. (1996) *Raisonnement en physique*. Bruselas : DeBoeck & Larcier. Trad. Cast. de M.J.Pozo: *Razonar en física*. Madrid: Antonio Machado.

VOSNIADOU, S. (1994) Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.

WILSON, F.R. (1998) *The hand: how its use shapes the brain, language and human culture*. Trad. Cast de J. Gavaldá: *La mano*. Barcelona: Tusquets, 2002.