

Innovación y Ciencia (Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia), X (3/4), 34-43.

La adquisición de conocimiento científico: ¿una prótesis cognitiva?

Juan Ignacio Pozo¹

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.*

En los últimos años la educación científica vive una cierta paradoja o contradicción. Por un lado podemos afirmar sin atisbo de duda que nunca antes se ha hecho un esfuerzo tan grande por extender o acercar la cultura científica a un mayor número de ciudadanos. Tanto la prolongación de la educación obligatoria, que entre nosotros supone una extensión también de la educación científica, que alcanza a más alumnos y durante más tiempo, como la creciente promoción de los saberes científicos en diversos ámbitos de educación informal (museos, revistas de divulgación, documentales de televisión, etc.) hacen que la presencia de la ciencia en los ámbitos de

¹ Este artículo ha sido en parte posible gracias a la concesión del Proyecto PB98-095 financiado por la DGESIC del Ministerio de Educación y Cultura de España. Dirección de los autores: Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. O también, nacho.pozo@uam.es

educación formal e informal sea, en términos cuantitativos, más extensa e intensa que nunca.

Pero al mismo tiempo, paradójicamente se extiende una creciente sensación de crisis o fracaso de esa educación. Los datos de las investigaciones, las sensaciones y vivencias de los profesores y las propias actitudes de los alumnos muestran que, desde el punto de vista cualitativo al menos, esa educación científica se encuentra posiblemente cada vez más lejos de sus objetivos. Así, por ejemplo, si analizamos el ingreso de los alumnos a la Universidad, hay una crisis generalizada en los estudios científicos. Proporcionalmente cada vez son menos los alumnos que desean cursar carreras científicas, y necesariamente, como era antes, los mejores. A su vez los datos de las investigaciones sobre los niveles de aprendizaje de la ciencia alcanzados por esos mismos alumnos son bastante desconsoladores, tanto desde el punto de vista cuantitativo, si tenemos en cuenta los niveles medios de rendimiento, como desde el punto de vista cualitativo, si estudiamos el grado de comprensión y aprendizaje realmente alcanzado. No es exagerado decir que la mayor parte de los alumnos, y de los ciudadanos, no comprenden la ciencia que estudian y en la que se basa buena parte de la tecnología que utilizan cada día²

Esta aparente paradoja -cada vez hay más educación científica, pero cada vez está más lejos de sus objetivos; la ciencia cada vez es socialmente más relevante, pero los ciudadanos la observan con una mezcla de miedo y respeto³- es un problema generalizado en nuestras sociedades. ¿Pero a qué se debe esta situación? En muy pocas palabras, creemos que la paradoja se resuelve en sí misma si asumimos que es precisamente el propósito de extender la cultura científica el que está poniendo de manifiesto un fracaso de la educación científica *tradicional*, su incapacidad para hacer que la mayor parte de la gente participe de sus saberes. La educación científica ha mantenido, en general, una orientación selectiva o elitista y ahora que intenta alcanzar a la mayor parte de los alumnos e incluso de los ciudadanos adultos se encuentra con una grave incapacidad para comunicarse con ellos. El paso de una ciencia para unos pocos - quienes la debían producir o al menos “conservar”, trasmitiéndosela a las nuevas

² Si el lector duda de estas dificultades de aprendizaje puede consultar nuestro libro *Aprender y enseñar ciencia* (Pozo y Gómez Crespo, 1998) en el que se incluyen numerosos ejemplos de esas dificultades, así que diversas explicaciones alternativas de las mismas que abundan en los argumentos de este artículo

³ ver por ejemplo Dunbar (1995)

generaciones a través de la enseñanza- a una ciencia para todos plantea retos que ni la educación formal ni la informal han logrado todavía superar⁴.

Aunque habría muchos factores generando este desencuentro entre la ciencia y la gente de la calle, en este artículo intentaremos argumentar una de sus causas más importantes, que reside en la propia naturaleza del conocimiento científico como fenómeno y proceso psicológico. El conocimiento científico es una construcción social compleja y laboriosa, contrario a la mayor parte de suposiciones y creencias que los seres humanos tenemos sobre el mundo y por tanto su enseñanza y aprendizaje requerirán no sólo acercar los saberes científicos a la gente sino hacerlo de tal manera que haga posible un verdadero cambio de mentalidad, una *reestructuración mental*. Por tanto, para generalizar la ciencia entre todos los ciudadanos no basta con presentarla o transmitirla, ya sea en contextos de educación formal o informal, es preciso diseñar esas situaciones de modo que promuevan en las personas una nueva mentalidad, una nueva forma de concebir los problemas y fenómenos a los que se enfrentan. Porque aprender ciencia no es sólo, o tanto, adquirir un conocimiento nuevo, sino cambiar la forma de concebir el mundo, reorganizar nuestras intuiciones y creencias primordiales, en su mayor parte inconscientes.

El aprendizaje de la ciencia: del conocimiento intuitivo al conocimiento científico

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, como saben muy bien los ingenieros que intentan diseñar, sin mucho éxito por cierto, robots que hagan algo parecido. Tenemos también ideas muy arraigadas sobre cómo funcionan los organismos y lo que necesitan para sobrevivir. O sobre cómo influir en la conducta de otras personas para lograr que se comporten de acuerdo con nuestros deseos. E incluso somos capaces de estimar con notable precisión la probabilidad de que ciertos fenómenos ocurran a partir de nuestra experiencia previa. Aunque la mayor parte de nosotros tenemos notables dificultades para aprender física, biología, o psicología, por no decir

⁴ Véanse al respecto las reflexiones de Claxton, 1991, o en el ámbito latinoamericano la propuesta de Niedo y Macedo, 1997).

matemáticas, somos, en general, excelentes físicos, biólogos, psicólogos ¡e incluso matemáticos intuitivos! ¡Y además lo somos sin saber que lo somos! Porque nuestra ciencia intuitiva consiste sobre todo en representaciones implícitas que usamos con una gran precisión pero con mucha frecuencia ignoramos que tenemos, e incluso negaríamos tenerlas. De hecho, según ha mostrado la investigación muchas de ellas las tenemos desde bien pequeños, desde la cuna, e incluso algunas las compartimos con otros animales⁵ ¿Cómo calculamos que ese balón que se dirige a nosotros nos va a golpear o no? ¿Cómo podemos interpretar esa sonrisa como una muestra de confianza o desprecio? Los ingenieros se las ven y se las desean para conseguir que los sistemas artificiales de conocimiento, los computadores, con toda su potencia y sofisticación tecnológica, con todos sus formalismos matemáticos basados en la teoría de la información, detecten las emociones y aprendan sobre ellas, por no decir que interpreten el lenguaje y comprendan lo que decimos. En cambio, un bebé es capaz de realizar esas proezas cognitivas con la mayor naturalidad y sencillez⁶.

Los intentos de la física o la psicología por dar cuenta de esos fenómenos, mediante su formalización y su explicación en términos de ciertos modelos y teorías, son mucho más recientes –en la filogénesis, la ontogénesis y la sociogénesis- que nuestras *teorías implícitas* alternativas, que si bien son muy limitadas en su capacidad de explicar lo que pasa son extraordinariamente eficaces para predecir los sucesos. Diríamos que el conocimiento cotidiano se rige por una *función pragmática* –tener éxito, lograr que las cosas sucedan- mientras que el conocimiento científico tiene una *función epistémica* –comprender o explicar por qué las cosas pasan como pasan⁷

Para ilustrar estas creencias intuitivas con respecto al mundo físico, tomemos algunos ejemplos. 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

⁵ Como han mostrado por ejemplo Gopnik, Meltzoff y Kuhl (1999) en su libro *Scientist in the crib* o el extraordinario libro de Mark Hauser (2000) *Mentes salvajes*. Una versión más humana de esas mentes puede encontrarse en *Humana mente: el mundo, la conciencia y la carne* (Pozo, 2001), donde puede encontrarse una explicación detallada de la psicología cognitiva *encarnada* que subyace a nuestra interpretación del mundo. Algunas de las páginas que vienen a continuación están basadas en todo o en parte en ese texto.

⁶ Ver por ejemplo el informe de Rosalind Picard (2002) sobre el diseño de ordenadores emocionales.

⁷ Ver Pozo (2001).

Damasio⁸, no podemos percibir el mundo sino *los cambios que el mundo produce en nosotros*. Este sería el origen y fundamento de nuestro conocimiento intuitivo: sería la forma encarnada en que nuestro cuerpo se representa el mundo físico y social en que vivimos⁹. 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 tenemos fuertes teorías implícitas sobre ese mundo físico que van a resultar muy difíciles de modificar, dada su historia de éxitos evolutivos y personales. Nuestras teorías implícitas sobre el mundo físico, son, por decirlo gráficamente, las respuestas que nos pide *el cuerpo* a los cambios energéticos que suceden en nuestro ambiente físico. Estas teorías implícitas serían resultado en buena medida de la aplicación de los mecanismos asociativos –como los clásicamente estudiados por los conductistas-, mecanismos de aprendizaje implícito aplicados a los cambios que nuestras estructuras corporales permiten detectar en el ambiente físico. En otras palabras, las reglas asociativas (como la covariación, contigüidad, semejanza, etc.) se aplicarían no a las relaciones entre los estímulos o parámetros energéticos de ese mundo físico sino a la información que nuestro cuerpo extrae de ese mundo en forma de “representaciones primordiales” o encarnadas.

Cada vez que nos enfrentamos a un suceso nuevo, o sea, moderadamente discrepante de nuestras expectativas, iniciamos una búsqueda causal, generalmente de naturaleza implícita o automática, con el fin de encontrar información que nos permita predecir y controlar ese suceso¹⁰. Cuando esto sucede, cuando un objeto no se comporta de acuerdo con nuestras representaciones implícitas, solemos recurrir a ciertas reglas simplificadoras que nos identifican las “causas” más probables y frecuentes, reduciendo la complejidad del mundo sensorial a unos pocos elementos destacados, eliminando el *ruido* de tantos otros factores irrelevantes. La tabla 2 presenta algunos ejemplos de las representaciones implícitas que estas reglas de semejanza, covariación y contigüidad nos proporcionan a partir de nuestras representaciones encarnadas del mundo, que

⁸ En su libro *El error de Descartes* (Damasio, 1994), un brillante y sugerente alegato contra el dualismo cartesiano, o platónico, en el que está sustentada no sólo la psicología cognitiva, sino más allá de ella nuestra cultura y con ella la propia educación, dirigida a cultivar las mentes abstractas formales, disociadas del cuerpo que habitan.

⁹ De ahí que la humana/mente sea una construcción basada en tres componentes (Pozo, 2001): el mundo, la carne (que se conmueve con el mundo) y la conciencia (o capacidad exclusivamente humana de conocer ese mundo más allá de esas restricciones encarnadas). No hay ciencia sin con/ciencia.

¹⁰ Ver Pozo (1987) para un análisis de estas reglas de inferencia causal como mecanismos de aprendizaje asociativo.

hacen que nuestra física intuitiva esté muy pegada a la piel, siguiendo una regla según la cual “lo que no se percibe, no se concibe” (o es muy difícil de concebir) con lo que se distancia notablemente de la física científica, que se refiere a abstracciones, no a hechos o sucesos directamente perceptibles. Así, los mismos términos se refieren a fenómenos muy diferentes en la física intuitiva y en la científica.

TABLA 1. Algunos ejemplos de la utilización de heurísticos o reglas simplificadoras en la construcción de representaciones implícitas a partir de los contenidos de la mente encarnada (adaptada de Pozo y Gómez Crespo, 1998)

REGLA	EJEMPLOS
<ul style="list-style-type: none"> Semejanza 	<ul style="list-style-type: none"> Si hace calor, nos quitamos ropa, ya que la ropa "da calor" El fenotipo es un reflejo del genotipo Si me duele el estómago, será algo que he comido Si el agua es húmeda, las partículas de agua también serán húmedas. Si un sólido está visiblemente quieto, las partículas que lo componen también estarán inmóviles.
<ul style="list-style-type: none"> Contigüidad espacial 	<ul style="list-style-type: none"> Las bombillas más cercanas a la pila en un circuito en serie lucirán con más intensidad que las más alejadas. El agua condensada en las paredes de un vaso es agua que se filtra a través de las paredes. La contaminación sólo afecta a las ciudades, ya que en el campo se respira aire puro.
<ul style="list-style-type: none"> Contigüidad temporal 	<ul style="list-style-type: none"> Si nos duele la cabeza o el estómago, se deberá a lo último que hayamos hecho o comido. La forma de las montañas se debe a la erosión y no a los movimientos geológicos. Si se nos seca el bonsái será que la semana pasada hizo calor (aunque tal vez llevemos dos años sin abonarlo).
<ul style="list-style-type: none"> Covariación cualitativa o cuantitativa 	<ul style="list-style-type: none"> Si cuando tengo fiebre y dolor de cabeza tomo un antibiótico y me curo, por más que digan los médicos, creeré que los antibióticos curan la gripe. Para calentar más rápidamente la casa suele subirse al máximo la temperatura en el termostato. Se asume que cuanto más velocidad lleva un cuerpo mayor es la fuerza adquirida . Se asume que la velocidad de caída de los objetos aumenta con el peso

Para todos nosotros el calor es aumento de temperatura, algo a lo que nuestro cuerpo es muy sensible; así decimos que una manta da calor en lugar de representárnosla como

un aislante térmico que reduce el intercambio de energía con el ambiente, que es como los físicos interpretan el calor. Para nosotros la energía es una sustancia más o menos material que se transporta y se consume (la gasolina, una batería, incluso un bocadillo de chorizo), para los físicos es más bien una moneda abstracta, no sustancial, que da cuenta de los estados de equilibrio y desequilibrio de la materia. Para nosotros una fuerza es una acción que se ejerce realmente (o sea perceptible o encarnada/mente) sobre un objeto; cuando los objetos están en reposo, en contra de lo que dicen los físicos, no concebimos que haya fuerzas actuando sobre ellos, pero cuando están en movimiento nos representamos fuerzas actuando en la dirección y con la intensidad del movimiento, en lugar de representar un movimiento inerte. Y sin duda nos resulta imposible de creer que cuando dos objetos interactúan (por ej., la Tierra y una pelota) las fuerzas que ejercen entre ellos son de la misma intensidad. Diga lo que diga la mecánica newtoniana, y lo dice muy clarito, nuestro cuerpo nos está informando continuamente de que para mover objetos debemos ejercer una fuerza de intensidad análoga al movimiento que queremos obtener y que los objetos se detienen cuando esa fuerza se agota. Las fuerzas son para nosotros entidades materiales, el músculo que hace posible el movimiento.

Nuestra tendencia a convertir en entidades materiales o *sustancializar* los conceptos físicos intuitivos¹¹ ilustra una vez más la naturaleza encarnada de nuestras representaciones implícitas, que se ocupan de objetos en un mundo tridimensional, de entidades materiales que ocupan espacio real en el mundo, aunque nuestras limitaciones nos impidan percibirlos. Podemos aceptar que la materia está compuesta de partículas imperceptibles, pero les atribuiremos, por analogía con el mundo sensorial, propiedades macroscópicas, y así, de acuerdo con el realismo ingenuo que subyace a nuestras representaciones encarnadas, tenderemos a hacerlas tan reales como el mundo en que vivimos, aunque, eso sí, invisibles. Por consiguiente, los alumnos de secundaria nos dirán, de acuerdo con sus representaciones encarnadas del mundo, que “las moléculas de agua están mojadas” o que “las partículas de la coca cola se mueven pero las del agua no”¹².

¹¹ ver Mortimer (2001)

¹² Como hemos comprobado en algunas de nuestras investigaciones recientes sobre la comprensión de la naturaleza de la materia (por ej., Gómez Crespo y Pozo, 2000, 2001; Pozo y Gómez Crespo, 1998, 2002)

También nuestras concepciones sobre el mundo biológico y geológico tienen un fuerte arraigo corporal. Así, 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, como vimos en el apartado anterior, un horizonte cronológico enormemente grande, dada la lentitud y la magnitud de esos cambios¹³. A su vez, la representación de los fenómenos biológicos tiende a vincularse a la propia experiencia corporal y personal. 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 podía ser menos, un fuerte arraigo corporal. 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 teorías 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 enfermedad¹⁴

Vemos por tanto que nuestra ciencia intuitiva –nuestro conocimiento intuitivo sobre el mundo físico, químico, geológico o biológico, aunque otro tanto podría decirse del mundo psicológico o social, aunque con rasgos diferentes¹⁵- 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 conocimiento intuitivo son contrarias al conocimiento científico establecido. ¿Acaso

¹³ Ver, por ej., Pedrinaci, 1998; en Pozo (2000) hemos aplicado las ideas de este trabajo al análisis de las concepciones geológicas

¹⁴ Sobre estas representaciones implícitas en medicina, véase por ejemplo López Manjón (1996).

¹⁵ 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 aprendizaje y la enseñanza (Pérez Echeverría *et al.*, 2001; Scheuer *et al.*, 2001), de modo que cambiar las formas de enseñar requiere cambiar esas concepciones, en los mismos términos que aquí estamos hablando para el conocimiento científico (por ej., Pozo *et al.*, 1999). Con respecto al conocimiento sobre la sociedad y la historia véanse los trabajos de Mario Carretero (1995; Carretero y Voss, 1994; Voss y Carretero, 1998).

alguien, viendo el mundo en el que vive, o al menos el mundo en que su cuerpo le dice que vive, puede creer 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 extraño, así, 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 el mundo, ya que esa nueva forma de ver el mundo exige negar la propia intuición o, si se acepta el argumento que hemos desarrollado, más allá de ello, negarnos a nosotros mismos, al negar las certidumbres que nuestro propio cuerpo nos proporciona con respecto al mundo. De hecho, según Duit "*hay que afirmar que no hay ni un solo estudio en la literatura de investigación sobre las concepciones de los estudiantes en la que una concepción concreta de las profundamente arraigadas en los alumnos haya sido totalmente extinguida y sustituida por una nueva idea. La mayoría de las investigaciones muestran que hay sólo un éxito limitado en relación con la aceptación de las ideas nuevas y que las viejas ideas siguen básicamente 'vivas' en contextos particulares*"¹⁶. Así las cosas, ¿es posible el aprendizaje de la ciencia, entendido como un cambio de mentalidad y no sólo como una simple acumulación de información o datos?

El aprendizaje de la ciencia como redescipción representacional

Aunque la visión que acabamos de presentar sobre el origen y naturaleza de las concepciones de los alumnos en términos de teorías implícitas pueda parecer muy pesimista con respecto a las posibilidades de que el aprendizaje de la ciencia pueda dar lugar a una verdadera reestructuración mental, 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 equipamiento cognitivo de serie, que es un extra o añadido cultural que requiere condiciones de instrucción muy precisas, esa reestructuración es posible¹⁷, siempre y cuando se conciba no como una

¹⁶ Duit (1999, pág. 270)

¹⁷ Ver para más detalle de este argumento Pozo (2001), Pozo y Gómez Crespo (1998, 2000).

sustitución de un conocimiento (intuitivo o implícito) por otro (científico o académico) sino más bien como un proceso de *redescripción representacional* de un conocimiento en otro, o si prefiere de integración jerárquica de una forma de ver el mundo en otra¹⁸. Partiendo de las teorías de sistemas, podemos 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 teorías implícitas) 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: todo aquello que puede lograrse con el sistema más simple, no necesita la acción del sistema más complejo; pero a su vez los niveles superiores reestructuran –en nuestro caso redescriben 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 (el conocimiento intuitivo o implícito), 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 simples¹⁹.

Podemos encontrar ejemplos de esta integración jerárquica de sistemas en muchos ámbitos. No podemos escribir no ya una novela sino ni siquiera estas líneas sin un conocimiento, aunque sea implícito, de la gramática, pero sería absurdo reducir estas líneas a conocimiento gramatical. Aunque *Cien Años de Soledad* o todas las estrofas de Neruda se compongan únicamente de una serie de signos, similares a los que usamos nosotros (quienes escribimos y ustedes que nos leen), la combinación de esas letras y signos forma un sistema nuevo, una nueva estructura, que no tendría sentido analizar en términos alfabéticos. Otro tanto sucede con la relación entre los sistemas biológicos y

¹⁸ El concepto de redescripción representacional lo tomamos de Karmiloff-Smith, aunque no estamos seguros de que el sentido en el que lo usamos (ver Pozo, 2001; Pozo y Rodrigo, 2001) sea idéntico al propuesto por esta autora. La idea de integración jerárquica en el aprendizaje del conocimiento científico la hemos desarrollado en Pozo (2001) y Pozo y Gómez Crespo (1998) o para el cambio de las teorías implícitas sobre el aprendizaje en Pozo *et al.* (1999).

¹⁹ Lorenz (1996) y Dawkins (1976) ofrecen magníficos ejemplos de esta organización sistémica en el campo de la biología. Simon (1962) hace otro tanto en el ámbito de la ciencia cognitiva. Por nuestra parte hemos intentado ofrecer una explicación de los niveles de análisis cognitivo en términos de una jerarquía de niveles representacionales (Pozo, 2001), de la que la adquisición de conocimiento científico sería un ejemplo.

los sistemas físicos; en cuanto organizaciones o sistemas más complejos, los seres vivos no pueden reducirse al funcionamiento de un sistema físico, por más que todas sus propiedades deban respetar fielmente las leyes (más elementales) de la física. Lo mismo sucede con el funcionamiento cognitivo, sólo puede ocurrir en sistemas físicamente viables –es decir, congruentes con las leyes físicas- pero no puede explicarse en términos físicos y ni siquiera biológicos, por más que muchos físicos, o biólogos, en su afán reduccionista, busquen reducir la mente a materia²⁰.

También dentro del propio funcionamiento cognitivo podemos encontrar niveles diferentes de complejidad. Las formas más simples, de naturaleza implícita o no consciente, son más antiguas, tanto en la filogénesis como en la ontogénesis, que las formas conscientes o explícitas, que nos proporcionan el verdadero conocimiento (que consiste en saber que sabemos). Todos tenemos representaciones implícitas del mundo, mapas en los que nos movemos sin saber que estamos en ellos. Aprender ciencia es, de alguna manera, reconstruir esos mapas, haciéndonos para ello conscientes de su existencia. Pero eso no significa que los abandonemos, ya que en buena medida, por su carácter primitivo, muchos de esos mapas son más antiguos que nosotros, somos parte de ellos, más que ellos parte de nosotros, del mismo modo que el aire que respiramos es, desde el momento en que lo respiramos, parte de nuestro propio cuerpo. Podemos reconstruirlos, como el aire nos reconstruye a nosotros, pero no destruirlos ni eliminarlos. Así que las teorías implícitas, aun después del aprendizaje de la ciencia, no pueden ser abandonadas ya que tienen funciones pragmáticas muy relevantes en el sistema cognitivo (no hay forma de calcular *on line* si ese balón nos va a golpear sin ellas; o sería muy costoso saber qué significa exactamente esa sonrisa sin nuestra intuición).

El conocimiento científico no puede sustituir a otras formas de saber, pero si puede integrar jerárquicamente a algunas de ellas, redescubriendo (es decir explicando) sus predicciones. 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 las representaciones encarnadas que todos tenemos (la química debe

²⁰ Ver este argumento más detallado en Pozo (2001)

redescribir 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).

En suma, más que acumular saberes o sustituir unos por otros, la educación científica debe promover una reflexión o redescipción 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, 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 redescibir mi experiencia encarnada, sensorial, pero no al revés. Y a su vez, esa teoría científica puede a su vez ser redescrita por otra (en realidad ahora sabemos que el Sol *sí* se mueve como consecuencia de la expansión continua del universo...).

Por tanto, frente a la idea de que el conocimiento científico debe sustituir al conocimiento cotidiano –que es la que ha predominado en los modelos didácticos del cambio conceptual, y es la que justifica la anterior afirmación de Duit- debemos asumir que la función de la enseñanza de la ciencia es promover una redescipción o explicación de ese conocimiento cotidiano en términos de modelos científicos más complejos y potentes, lo cual requiere considerar también ese cambio representacional como un sistema complejo en el que al menos deberemos de considerar tres procesos de aprendizaje interrelacionados²¹:

²¹ Según Pozo y Gómez Crespo (1998)

-Una *reestructuración teórica*: frente a las estructuras simplificadoras del conocimiento cotidiano, basado en reglas asociativas de aprendizaje implícito que hemos visto (covariación, contigüidad, semejanza, etc.) que se basan en una causalidad lineal, 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, 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 redescibir esos conocimientos en términos de sistemas conceptuales más potentes.

-Una *integración jerárquica* de las diversas formas de conocimiento cotidiano y científico. Frente al supuesto de que la enseñanza de la ciencia debe estar dirigida a que el alumno abandone su ciencia intuitiva, sus teorías implícitas, parece que la función de la instrucción científica debería ser más bien ayudar al alumno a reconstruir y redescibir sus intuiciones, situándolas en un nuevo y más potente marco conceptual, 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"²². No podemos abandonar nuestra experiencia mental personal pero sí podemos enriquecerla accediendo a nuevas representaciones, que al modo de *prótesis cognitivas*, nos permiten a 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 termino) para ayudarnos a ver más allá de nuestros límites encarnados. Esa es en nuestra opinión la meta y el reto de la educación científica: reconstruir las estructuras mentales incorporando ciertos conocimientos culturales especialmente valiosos, que nos permiten a su vez generar nuevos mundos mentales.

Referencias

- Carretero, M. (Ed.) (1995) *Construir y enseñar. Las Ciencias Sociales y La Historia*. Buenos Aires: Aique.
- Carretero, M. y Voss, J.F. (eds.) (1994) *Cognitive and instructional processes in History and Social Sciences*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Claxton, G. (1991) *Educating the inquiring mind. The challenge for school science*. London: Harvester. (Trad. Cast. de G. Sánchez: *Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor, 1994).
- 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.
- Dawkins, R. (1976) Hierarchical organization: a candidate principle for ethology. En: P. Bateson y R.A. Hinde (eds.) *Growing points of ethology*. Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- 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.
- Dunbar, R. (1995) *The trouble with science*. Trad. cast. De M. Ferrero: *El miedo a la ciencia*. Madrid: Alianza, 1999.
- 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.

²² Juan José Millás. *Cuerpo y prótesis*. Madrid: Ediciones El País/Aguilar.

- 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.
- Karmiloff-Smith, A. (1992) *Beyond modularity*. Cambridge, Massachusets: Cambridge University press. Trad cast. de J.C. Gómez y M. Núñez: *Más allá de la modularidad*, Madrid: Alianza, 1994
- López Manjón, A. (1996) La teorías intuitivas en Medicina. *Revista de Psicología General y Aplicada*.49, (1), 111-125.
- Lorenz, K. (1996) Innate bases of learning. En: K.H. Pribram y J. King (eds.) *Learning as self-organization*. Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Mortimer, E. (2001) Perfiles conceptuales: modos de pensar y modos de hablar en las clases de ciencias. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4),
- Nieda, J. y Macedo, B. (1997) *El currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. Santiago de Chile: Unesco; Madrid: OEI.
- 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 aprendizaje. *Estudios de Psicología*, 22 (2), 155-173.
- Picard, R. (2002) The affective computers. Trad. cast. en: I. Morgado (ed.) *Emoción y conocimiento. La evolución del cerebro y la inteligencia*. Barcelona: Tusquets.
- Pozo, J.I. (1987) *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- 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. 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) Más allá del “equipamiento cognitivo de serie”: la comprensión de la naturaleza de la materia. En: M. Benlloch (ed.) *La educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Paidós.
- Pozo, J.I.; Gómez Crespo, M.A. y Sanz, A. (1999) When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. En: W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.) *New perspectives on conceptual change*. Londres: Elsevier.
- 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. y Mateos, M. (1999) El cambio de las concepciones de los profesores sobre el aprendizaje. En: J.M. Sánchez, A. Oñorbe e I. Bustamante (Eds.) *Educación Científica* Madrid: Ediciones de la Universidad de Alcalá.
- Scheuer, N. ; Pozo, J.I.; De La Cruz, M. y Baccala, N. (2001) ¿Cómo aprendí a dibujar? Las teorías de los niños sobre el aprendizaje. *Estudios de Psicología*, 22 (2), 185-205.
- Simon, H.A. (1962) The architecture of complexity. Trad. Cast.: H. Simon: *Las ciencias de lo artificial*. Barcelona: A.T.E., 1979.

Voss, J.F. y Carretero, M. (Eds.) (1998) *Learning and reasoning in history*. Londres: Woburn Press