

CONFERENCIAS

¿POR QUÉ LOS ALUMNOS NO APRENDEN LA CIENCIA QUE LES ENSEÑAMOS?: EL CASO DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA¹

Why students do not learn the science we teach them?: The case for the Earth Sciences

Juan Ignacio Pozo (*)

RESUMEN:

Hay datos abundantes que muestran que los alumnos no aprenden muchos de los contenidos científicos que les enseñamos. Entre las muchas causas de ese fracaso está la gran distancia entre el conocimiento cotidiano de esos alumnos y el conocimiento científico que queremos que aprendan en el dominio de las Ciencias de la Tierra, que se diferencian en (a) las actitudes que requieren y promueven; (b) los procedimientos en que se basan y (c) los conceptos y principios desde los que interpretan los fenómenos geológicos. En este artículo se analizan las diferencias en los principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales que subyacen a ambos tipos de conocimiento. Se defiende que el aprendizaje de la Ciencia requiere un cambio representacional en los alumnos desde los principios del conocimiento cotidiano a los principios del conocimiento científico y que ese cambio debe apoyarse en tres procesos de aprendizaje relacionados: reestructuración teórica, explicitación progresiva e integración jerárquica del conocimiento cotidiano en el científico. Y para ello se requiere cambios sustanciales en la forma en que se organizan los currículos de Ciencias de la Tierra.

ABSTRACT:

We have a great number of studies showing that students do not learn many of the scientific contents we teach them. In order to explain this educational failure we must identify three essential differences between everyday and scientific knowledge in the Earth Sciences: (a) the attitudes they require and promote; (b) the procedures they use; and (c) the concepts and principles in which they are based to interpret geological phenomena. This paper analyses the differences in the epistemological, ontological and conceptual principles underlying both kinds of knowledge. We argue that Science learning require a representational change in these principles, from everyday to scientific knowledge. This change will be based on three related learning processes: theoretical restructuring, progressive explicitation and hierarchical integration. The paper concludes discussing some changes we must introduce in the Earth Science curricula in order to promote these learning processes.

Palabras clave: educación científica; conocimiento cotidiano; teorías implícitas; cambio conceptual

Keywords: science education; everyday knowledge; implicit theories; conceptual change

INTRODUCCIÓN

¿Por qué los alumnos no aprenden la Ciencia que les enseñamos?

Sin duda es esta una pregunta que con frecuencia ronda por la cabeza de todos los profesores de Ciencias –cada vez más en Educación Secundaria y sin duda mucho menos de lo debido en la enseñanza universitaria– habituados a ver cómo sus alumnos apenas aprenden algunas pocas cosas de las que les enseñan. Si aceptamos que aprender es cambiar los conocimientos o conductas de los alumnos de una forma duradera y funcional (Pozo, 1996), debemos admitir que en general la enseñanza logra menos cambios de los que se propone. En el caso espe-

cífico de las Ciencias de la Tierra, a juzgar por la propia experiencia de muchos profesores avalada por los datos de las investigaciones (por ej., Ault, 1994; Baxter, 1995; Marques, 1998; Pedrinaci, 1996), habría una gran distancia entre el *currículo que se propone, se enseña y se aprende*, por usar una distinción de Richard Duchsl, uno de los principales investigadores en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra (Duchsl y Hamilton, 1992).

Si la justificación y estructuración de los contenidos muchas veces viene avalada por criterios epistemológicos y disciplinares, su enseñanza en el marco de un currículo concreto suele verse constreñida por numerosos factores que hacen que el currículo enseñado sea en realidad menos ambicioso que

(*) Departamento de Psicología Básica. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

(1) Las investigaciones que se describen en este artículo han sido posibles gracias a la concesión del Proyecto PB98-095 del MEC, del que el autor es investigador principal.



el propuesto, pero sobre todo, finalmente, que el currículo aprendido por los alumnos sea considerablemente más exiguo que el currículo enseñado por los profesores. Dejando de lado otros factores que podrían explicar la distancia entre lo que se propone y lo que realmente se enseña, en las próximas páginas intentaremos analizar algunas causas por las que, tal como señala el título de este trabajo, los alumnos no aprenden las Ciencias de la Tierra que se les enseñan, esperando que este análisis nos permita encontrar formas de reducir esa distancia entre el currículo enseñado y el aprendido.

LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA

Obviamente, dada la naturaleza de la pregunta formulada en el título del artículo y las limitaciones de espacio con las que contamos, sería ingenuo el lector que esperara una respuesta concluyente, definitiva, pero sí podemos apuntar algunas respuestas y, sobre todo, presentar una propuesta de análisis de las dificultades de aprendizaje de los alumnos basada en los recientes desarrollos de la psicología cognitiva del aprendizaje (una versión más desarrollada de esta propuesta puede encontrarse en Pozo y Gómez Crespo, 1998). De hecho, si el lector ha vivido en carnes propias esta experiencia –la de intentar enseñar ciertos contenidos a los alumnos con éxito dudoso, o la de intentar aprenderlos con parecido éxito, o incluso por qué no ambas– tendrá sus propias respuestas intuitivas o personales, fruto de sus propias concepciones implícitas sobre el aprendizaje (Pozo *et al.*, 1999). Así muchos profesores podrán responder preguntándose a su vez:

- ¿No será que a los alumnos no les interesa la Ciencia y no se esfuerzan por aprenderla?
- ¿No será que la Ciencia es necesariamente compleja y abstracta y esos alumnos aún no tienen capacidad intelectual para entenderla?
- ¿No será que no tienen conocimientos de base suficientes?

De hecho estas distintas preguntas hacen referencia a diferentes dificultades de aprendizaje de los alumnos, acreditadas por la investigación psicopedagógica y didáctica. Si partimos de la diferenciación entre los tres tipos de contenidos principales del currículo (Coll *et al.*, 1992; Pozo, 1999b), podemos pensar, tal como apuntan esas preguntas, que el aprendizaje de la Ciencia requiere de los alumnos adquirir nuevas actitudes, nuevos procedimientos y nuevos conceptos, cuyo aprendizaje resulta muy problemático (ver Pozo y Gómez Crespo, 1997).

Así, la falta de interés de los alumnos está vinculada a sus dificultades para asumir las *actitudes* y *valores* propias del trabajo científico y del aprendizaje de la Ciencia, bastante alejadas de las que caracterizan al conocimiento cotidiano que los alumnos usan en otros contextos. La actitud pasiva, acrítica y escasamente reflexiva con la que muchos profesores perciben que sus alumnos reciben sus conocimientos científicos, en las antípodas de lo que debería ser la forma en que un científico aborda

un problema, ha sido refrendada por diferentes investigaciones (ver por ej., Koballa, 1995; Simpson *et al.*, 1994). Pero lo que también muestran esas investigaciones es que esas actitudes de los alumnos, además de ser causa de su escaso aprendizaje –los alumnos no interesados no aprenden– son también *consecuencia* del tipo de enseñanza que reciben –los alumnos que no aprenden no están interesados. De hecho, en las aulas suele presentarse muchas veces el conocimiento científico como un saber acabado, cerrado, difícilmente criticable por los alumnos, por lo que sería raro que los alumnos desarrollaran actitudes propias de los científicos cuando el formato en el que reciben la Ciencia está tan alejado de las formas de hacer de los científicos. Incluso cuando va al laboratorio, en “Laboratorilandia” según el sarcástico análisis de Claxton (1991), las metas y los hábitos de un alumno se parecen muy poco a las de un científico.

En suma, la forma en que se enseña la Ciencia contribuye, aunque sea muchas veces de modo implícito, a consolidar actitudes poco deseables con respecto a la propia Ciencia y sus implicaciones sociales (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Esa presentación del conocimiento científico como un producto, más que como un proceso (Duchs, 1994), como un saber ya establecido más que como una forma de acceder a ciertos saberes, contribuye a una segunda dificultad, la que los alumnos tienen para utilizar los *procedimientos* y *estrategias* propios del conocimiento científico y su aprendizaje. Hacer y aprender Ciencia requiere ciertos procedimientos que, lejos de ser intuitivos, deben ser enseñados. Sin embargo, las formas tradicionales de enseñar esos procedimientos han tendido a reducirlos a meras rutinas –la parodia del *método científico* como una técnica infalible para llegar a establecer ciertas leyes– muy alejadas de la verdadera complejidad cognitiva del pensamiento científico (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Sin confundir la enseñanza de estos procedimientos con la verdadera investigación científica, se trataría de hacer que los alumnos, en condiciones restringidas y bajo la tutela del profesor, se acerquen a la forma en que los científicos construyen y someten a prueba sus modelos, ya que sólo así podrán comprender la verdadera naturaleza del conocimiento científico.

Finalmente, como es sobradamente conocido, los alumnos tienen graves dificultades para comprender los *conceptos* y *principios* en los que se basan las teorías científicas. De hecho buena parte de la investigación didáctica en las dos últimas décadas ha estado centrada en identificar algunas de estas dificultades conceptuales de los alumnos, caracterizadas por la existencia de fuertes y muy extendidas concepciones alternativas en los alumnos sobre numerosos fenómenos científicos, que se muestran además muy resistentes al cambio en la enseñanza. Aunque en el área de las Ciencias de la Tierra estas concepciones no han sido tan investigadas como en otros dominios científicos, disponemos ya de suficientes estudios que acreditan algu-



nas de estas concepciones en los alumnos, como por ejemplo, las ideas de los alumnos sobre la formación de las montañas, la aparición de fósiles en las rocas o la organización de diferentes estructuras geológicas (Ault, 1994; Pedrinaci, 1996). Tal como veremos más adelante, estas concepciones o ideas de los alumnos son consecuencia de los principios en los que implícitamente se sustentan sus representaciones intuitivas del mundo, que están muy alejados de los que asumen las teorías científicas que les son enseñadas. Sólo trabajando sobre esos principios en que se sustenta el conocimiento lograremos que los alumnos comprendan el significado de los conceptos científicos.

De hecho, estas tres dificultades de aprendizaje, que se conectan con las tres supuestas carencias antes esbozadas -la falta de motivación, de capacidad intelectual y de conocimientos previos- están muy relacionadas y cobran un nuevo significado si se analizan en términos positivos en vez de negativos. No es que los alumnos *carezcan* de intereses, inteligencia o conocimientos para aprender Ciencia, sino que la Ciencia requiere de ellos asumir unos motivos, una lógica y unos modelos que son muy diferentes de los que se requieren en la vida cotidiana, y por tanto el aprendizaje de la Ciencia requiere *que los alumnos construyan una nueva mentalidad o racionalidad* diferente de la que rige el conocimiento cotidiano. En términos cognitivos, diríamos que el aprendizaje de la Ciencia requiere de los alumnos no tanto adquirir nuevos conceptos, habilidades y actitudes como un *cambio representacional*, una verdadera revolución en la forma en que conciben y representan el mundo en que viven y del que forman parte.

EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA COMO CAMBIO REPRESENTACIONAL

Frente a quienes creen que las formas de hacer y pensar de la Ciencia no son sino una prolongación de la forma natural y espontánea en que los seres humanos nos enfrentamos al mundo, que los niños y también los adultos resuelven sus problemas como científicos intuitivos (Dunbar, 1995; Gopnik y Meltzoff, 1997), de forma que la mente del niño y del científico están *formateadas* de la misma manera, nosotros pensamos que la Ciencia requiere nuevos formatos representacionales para la mente humana, de modo que los *programas* de la Ciencia *no corren* en la mente humana si ésta no se reestructura -o no se *reformatea*- y que esto sólo es posible, aunque no probable, a través de una instrucción cuidadosamente diseñada (Pozo, 1999a; Pozo y Gómez Crespo, 1998). O, dicho en otras palabras, una de las causas principales de la escasa comprensión de la Ciencia por los alumnos es que las capacidades necesarias para hacer Ciencia no formarían parte del *equipamiento cognitivo de serie* de los seres humanos, sino que es un costoso *extra* cultural y educativo (Pozo y Gómez Crespo, en prensa). Y que por tanto aprender Ciencia requiere dotar al alumno de unas capacidades, de unas formas de pensar, que son difíciles de

incorporar a un sistema cognitivo que, aunque a muchos profesores de Ciencias les cueste creerlo viendo los niveles de aprendizaje de sus alumnos, tiene tras de sí una larga historia filogenética y cultural que le hace muy eficaz en el mundo cotidiano aunque restrinja seriamente su capacidad de representar el mundo mediante los modelos y teorías de la Ciencia, en este caso de las Ciencias de la Tierra.

¿Pero cuáles son los principios y las formas de procesamiento que organizan el conocimiento intuitivo de los alumnos y que generan representaciones alternativas a las de la Ciencia? Desde nuestro punto de vista los alumnos, como todos nosotros, mantienen *teorías implícitas*, en este caso sobre la Tierra, su composición, estructura y evolución, que se apoyan en una serie de supuestos subyacentes, de naturaleza implícita, diferentes cuando no contrapuestos a los que de modo explícito o implícito sostienen las teorías científicas que se les enseñan (aunque en ocasiones muy similares a los que las propias Ciencias de la Tierra han mantenido hasta tiempos muy recientes, como señala Pedrinaci, 1998). Así, la comprensión de esas teorías científicas, como por ejemplo entender la dinámica interna terrestre, o el origen y formación de las rocas y las montañas, implicaría superar las restricciones que imponen esas teorías implícitas, que desde nuestro punto de vista se podrían analizar a través de tres dimensiones principales: epistemológica, ontológica y conceptual (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

La comprensión de los conceptos esenciales de las Ciencias de la Tierra, al igual que en otras Ciencias, requeriría un cambio en la naturaleza del conocimiento y los procesos mediante los que se adquiere y modifica (cambio epistemológico), un cambio en las entidades desde las que se interpretan los fenómenos (cambio ontológico) y finalmente un cambio en la forma en que se estructuran y organizan esas entidades en el marco de las teorías (cambio conceptual). De esta forma, construir el conocimiento científico implicaría un cambio radical en la forma de concebir cada uno de estos principios que subyacen a las representaciones. En vez de ante una comparación dicotómica entre formas cotidianas y científicas de conocer el mundo, nos hallaríamos ante un continuo a lo largo del cual habría que ir profundizando con el fin de acercarse al sentido del conocimiento científico. O dicho de otro modo, superar cada uno de estos principios implicaría trascender las restricciones o tendencias del procesamiento cognitivo *natural*, ir más allá de nuestro *equipamiento cognitivo de serie* (Pozo y Gómez Crespo, en prensa) en dominios concretos, como pueden ser las Ciencias de la Tierra. Se trataría de tendencias que no sólo aquejarían al pensamiento de los alumnos, sino al de todos nosotros en numerosas situaciones en las que tendemos a usar el conocimiento cotidiano. Ese conocimiento cotidiano, y los supuestos en que se basa, se puede reestructurar o reinterpretar a partir de otras formas de conocimiento más complejas, pero raramente se abandona o se elimina de la mente del alumno, ya



que resulta de una gran eficacia cognitiva y adaptativa. Por tanto, aunque esos diversos principios se re-construyen de modo relacionado y solidario, ya que se exigen mutuamente, cambiar esos principios en un dominio dado no necesariamente implica abandonar las formas más simples, intuitivas, de conocimiento en ese dominio, y menos

aún que el cambio se generalice o transfiera automáticamente a otros principios o a otros dominios de conocimiento (Pozo, 1999a).

Tal como muestra la Tabla 1, esa progresión desde los principios del conocimiento cotidiano hacia los principios del conocimiento científico, que sin

PRINCIPIOS EPISTEMOLÓGICOS		
REALISMO INGENUO <i>La realidad es tal como la vemos. Lo que no se percibe no se concibe</i>	REALISMO INTERPRETATIVO La realidad existe y tiene sus propiedades, aunque no siempre podamos conocerla directamente, pero mediante la ciencia y la técnica podemos saber cómo es realmente	CONSTRUCTIVISMO El conocimiento científico es una construcción que nos proporciona modelos alternativos para interpretar la realidad, pero que no son parte de la realidad
PRINCIPIOS ONTOLÓGICOS		
ESTADOS Interpretación del mundo en términos de estados de la materia desconectados entre sí	PROCESOS Los fenómenos se interpretan como una sucesión de hechos relacionados entre sí mediante ciertos procesos	SISTEMAS Los fenómenos se interpretan a partir del conjunto de relaciones complejas que forman parte de un sistema
PRINCIPIOS CONCEPTUALES		
HECHOS o DATOS Los fenómenos y hechos se describen en función de las propiedades y cambios observables	CAUSALIDAD LINEAL (de simple a múltiple) Los fenómenos se explican mediante relaciones causales simples que evolucionan a distintos grados de complejidad	INTERACCIÓN Las propiedades de los cuerpos y los fenómenos se interpretan como un sistema de relaciones de interacción
CAMBIO SIN CONSERVACIÓN Sólo cambia aquello que vemos que se altera. Necesidad de explicar lo que cambia pero no lo que permanece	CAMBIO CON CONSERVACIÓN Se acepta la conservación de propiedades no observables pero no el equilibrio	CONSERVACIÓN y EQUILIBRIO Los distintos fenómenos se interpretan en términos de interacción, lo que lleva a la conservación y al equilibrio
RELACIONES CUALITATIVAS Los fenómenos se interpretan en forma cualitativa	REGLAS HEURÍSTICAS Utilización de reglas simplificadoras	RELACIONES CUANTITATIVAS Proporción, probabilidad, correlación

Tabla 1, Tres dimensiones de cambio en el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra (a partir de Pozo y Gómez Crespo, 1998). Explicación en el texto.

duda requeriría un tratamiento igualmente progresivo en el currículo (Pedrinaci, 1998), puede analizarse a través de las tres dimensiones descritas en términos de cambio epistemológico, ontológico y conceptual (para una justificación más detallada de estas dimensiones véase Pozo y Gómez Crespo, 1998).

En un primer término, comprender la Ciencia implicaría un cambio en la lógica a partir de la cuál el alumno organiza sus teorías. Desde el punto de vista epistemológico, en nuestro conocimiento cotidiano solemos asumir una posición *realista*, según la cual, el mundo es tal como lo percibimos o se muestra ante nosotros. Es así como los alumnos perciben la materia en Química como algo estático y continuo y también como perciben la Tierra como algo estático e inmutable, una de las mayores dificultades para la comprensión de los cambios geológicos (Pedrinaci, 1996), haciendo que la identidad asumida entre la representación (el modelo geológico) y el mundo observable sea una de las mayores dificultades en el aprendizaje de estas disciplinas (Marques, 1998). Sólo asumiendo que nuestro conocimiento no es real, que, volviendo a la feliz metáfora de Borges, nuestros mapas no son nunca iguales a los territorios que *representan*, pueden los alumnos entender adecuadamente la Ciencia que se les enseña.

Los alumnos pueden suavizar este realismo ingenuo, asumiendo un *realismo interpretativo* según el cual el mundo no sería tal como lo vemos directamente pero ciertos instrumentos o técnicas elaboradas por la Ciencia nos permitirían verlo *tal como realmente es*, nos permitirían acceder a los verdaderos “mapas” del mundo geológico. Pero resulta mucho más difícil que asumir que lo que la Ciencia nos proporciona son modelos construidos para dar respuesta a los diferentes problemas que los científicos han tenido que ir resolviendo, pero que cada uno de los modelos representa una perspectiva diferente, nunca completa, del mundo, al igual que los diferentes mapas de Londres que podemos imaginar representan diferentes perspectivas de Londres, pero ninguno de ellos *es* Londres. Aprender Ciencia no es saber cómo son las cosas realmente, sino ser capaz de imaginar o representarse de formas diversas, cada vez más completas y complejas, los problemas de los que se ocupa la Ciencia.

Pero para comprender esos modelos científicos se requeriría no sólo una determinada concepción epistemológica sobre su naturaleza, sino también, utilizar ciertas entidades mentales, ciertas *categorías ontológicas*, para representarse los fenómenos estudiados, y en eso también, como refleja la Tabla 1, las teorías implícitas de los alumnos se hallan bien lejos de las formalizaciones explícitas de los científicos que se les exige aprender. Mientras que los alumnos tienden a representarse el mundo en términos de *estados*, que describen cómo son o se ven las cosas, las Ciencias de la Tierra proponen modelos basados en *sistemas* complejos y dinámicos. Las interpretaciones *fijistas* o *estáticas* que caracterizan el pensamiento de los alumnos sobre los fenómenos geológicos y que dificultan tanto su

comprensión de los cambios geológicos, responderían a una tendencia común, o natural, en nuestro conocimiento cotidiano a interpretar las situaciones en términos de estados sucesivos o desconectados entre sí (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Los alumnos perciben los diferentes estados de la materia (sólido, líquido, gas) como realidades diferentes, de la misma forma que sus profesores les perciben a ellos en términos de estados (“los alumnos no *están* motivados”, o “Laura *es* inteligente pero vaga”).

Interpretar un fenómeno en términos estáticos implica atribuir sus propiedades a ese estado (sea la inteligencia o motivación del alumno, la dureza de un líquido o una roca, o la altura de una montaña) más que explicar esas propiedades en función de ciertos procesos causales. La aparición de estos procesos en el conocimiento cotidiano se hace necesaria cuando se hacen observables ciertos cambios en los estados (el líquido se evapora, el alumno que hasta ahora iba bien de pronto fracasa, se produce un terremoto, la capa de ozono se reduce...) que requieren ser explicados. Dadas las dimensiones espaciales y temporales de los cambios geológicos, es muy difícil que los alumnos lleguen a percibirlos y a sentirse necesitados a explicarlos, pero si logramos inducir esa necesidad a través de la enseñanza, es probable que, lejos de adoptar explicaciones en términos de *sistemas* como los que propone la Ciencia –sistemas en continuo movimiento, sin principio ni fin, basados en relaciones de equilibrio y conservación– los alumnos recurran a *procesos causales lineales*, que actuando en un momento dado y en un solo sentido, den cuenta de la diferencia entre el estado inicial y final. De ahí que les resulte más fácil asumir un “catastrofismo ingenuo” o percibir la acción inmediata de agentes externos localizados (los efectos de una inundación o la erosión del viento) que comprender la dinámica de los sistemas terrestres (Marques, 1998; Pedrinaci, 1998). Al fin y al cabo, uno puede ver en televisión cada cierto tiempo los efectos de ciertas catástrofes causadas por agentes identificables (el viento, la lluvia, la acción humana) pero no puede ver ese fluir continuo de los sistemas en acción.

Ahora bien, la conjunción e interacción de diferentes procesos en el marco de un sistema de *interacciones* y *equilibrios* permite redescubrir el significado de cada uno de esos procesos, que formarían parte de nuevas *estructuras conceptuales*, cada vez más complejas (ver tabla 1). Desde la interpretación inicial de hechos aislados, centrada en lo observable y basada en acercamientos cualitativos, el conocimiento científico requerirá de los alumnos interpretar los fenómenos en términos de procesos de creciente complejidad –en dimensiones espacio/temporales crecientes, con mayor precisión en la medición y la cuantificación–, que a su vez suelen ser un requisito para la comprensión de las relaciones en términos de sistemas, tal como hace la Ciencia, donde lo relevante no son sólo los procesos inmediatos que han producido ese cambio en el estado de la materia sino el conjunto de interacciones que tienen lugar en el marco de un sistema en equilibrio dinámico.



LAS METAS Y LOS MÉTODOS DE LA ENSEÑANZA PARA EL CAMBIO REPRESENTACIONAL

Una característica esencial del cambio representacional es por tanto que cada nivel de análisis representacional no abandonaría los conocimientos del nivel anterior, sino que los integraría, o en términos de Karmiloff-Smith (1992) los redescibiría, en nuevas categorías o niveles de análisis representacional, de una mayor complejidad. Al igual que los diferentes estados pasaban a relacionarse por medio de procesos, los diferentes procesos se relacionan entre sí dentro de un sistema. El cambio representacional no tiene por qué suponer el abandono de las interpretaciones más simples, sino más bien su reinterpretación o integración en otras más complejas (Pozo, 1999a, Pozo y Gómez Crespo, 1998). A determinados niveles de análisis un fenómeno puede representarse como un proceso lineal, o incluso como un estado o un hecho, pero obviamente ello empobrece su significado. Frente a la idea de que el conocimiento científico debe sustituir al conocimiento cotidiano, hoy debemos asumir que la función de la enseñanza de la Ciencia es promover una redescipción o explicación de ese conocimiento cotidiano –tal como lo hemos analizado anteriormente a partir de la tabla 1– 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 interrelacionados (Pozo y Gómez Crespo, 1998):

- Una reestructuración teórica: frente a las estructuras simplificadoras del conocimiento cotidiano, basado en reglas asociativas de aprendizaje implícito (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 de los conocimientos previos de los alumnos así como de las estructuras que a ellos subyacen, 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.

En suma, si parte de las dificultades de los alumnos para acercarse a las Ciencias de la Tierra se deben a que estas proporcionan *mapas* del mundo bien diferentes de los que ellos perciben diariamente, si queremos que los alumnos den a esos modelos o representaciones un sentido cercano al que le atribuyen los científicos y sus profesores, la enseñanza de las Ciencias de la Tierra debe asumir como una de sus metas fundamentales ese *cambio representacional* y como uno de sus métodos fundamentales el acercamiento progresivo de ambos tipos de conocimiento, el cotidiano y el científico (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Se trataría de partir de lo concreto para, a partir de ello, ir construyendo una nueva forma de representar la Tierra en la que viven.

Pero al hacerlo debemos recordar el viejo dicho, nunca más preciso que en este caso, de que si Mahoma, o en este caso Manolo o María, no acude a la Montaña, debe ser la Montaña la que acuda a Mahoma, a Manolo y María, a los alumnos, acercándose a su forma de ver el mundo para a partir de ella ir construyendo nuevas estructuras conceptuales, basadas en nuevos principios epistemológicos y ontológicos. Porque si seguimos esperando que sea Mahoma, o Manolo, o María, quienes vayan a la Montaña, será difícil conseguir que inicien alguna vez el feliz viaje del conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ault, Ch. (1994). Research on problem solving: Earth Science. En D. Gabel (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. N. York: Macmillan.
- Baxter, J. (1995). Children's understanding of astronomy and the Earth Sciences. En: S. M. Glynn y R. Duit (Eds.) *Learning science in schools*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Claxton, G. (1991). *Educating the inquiring mind. The challenge for school science*. London: Harvester. (Trad. Cast. de G. Sánchez: *Educación mentes curiosas. El reto de la Ciencia en la escuela*. Madrid: Visor, 1994).
- Coll; C.; Pozo, J.I.; Sarabia, B. y Valls, E. (1992). *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. Madrid: Santillana.
- Dunbar, R. (1995). *The trouble with science*. Trad. cast. de M. Ferrero: *El miedo a la Ciencia*. Madrid: Alianza, 1999.
- Duchsl, R.A. (1994). Research on the history and philosophy of science. En D. Gabel (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. N. York: Macmillan.
- Duchsl, R.A. y Hamilton, R.J. (Eds) (1992). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational practice*. Albany, N.Y.: State University of New York Press.
- Gopnik, A. y Meltzoff, A.N. (1997). *Words, thoughts and theories*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press. Trad. cast. de María Sotillo: *Palabras, pensamientos y teorías*. Madrid: Visor, 1999.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press. Trad. cast. de J.C. Gómez y María Nuñez: *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza, 1994.
- Koballa, T.R. (1995). Children's attitudes toward learning science. En: S. M. Glynn y R. Duit (Eds.) *Learning science in schools*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.



Marques, L. (1998). De la distribución de los continentes a la tectónica de placas: concepciones de los alumnos. *Alambique*, 18, 19-29

Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7, 27-36.

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

Pozo, J.I. (1996). *Aprendices y maestros. La nueva cultura del aprendizaje*, Madrid: Alianza

Pozo, J.I. (1999a.) Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias*, núm extra, junio 1999, 15-29.

Pozo, J.I. (1999b). Aprendizaje de contenidos y desarrollo de capacidades en la Educación Secundaria. En C. Coll (ed.) *Psicología de la instrucción: la enseñanza y el aprendizaje en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1997). ¿Qué es lo que hace difícil la comprensión de la ciencia? Algunas

explicaciones y propuestas para la enseñanza. En L. del Carmen (Ed.) *Cuadernos de Formación del Profesorado de Educación Secundaria: Ciencias de la Naturaleza*. Barcelona: Horsori.

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. (en prensa) Más allá del "equipamiento cognitivo de serie": la comprensión de la naturaleza de la materia. En: M. Benlloch (ed.) *Ideas para una cultura científica*. Barcelona: Tusquets.

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; Oñorbe, A y Bustamante, I. (Eds.) *Educación Científica* Madrid: Ediciones de la Universidad de Alcalá

Simpson, R.D.; Koballa, T.R.; Oliver, J.S. y Crawley III, J.E. (1994). Research on the Affective Dimension of Science Learning. En D. Gabel (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. N. York: Macmillan. ■

