

CONFERENCIAS

SI QUIERES AVANZAR HAZTE CON UNA TEORÍA

To make progress develop a theory

Emilio Pedrinaci (*)

RESUMEN

Entre el profesorado es frecuente pensar que para enseñar una disciplina basta con conocerla y tener cierta experiencia docente. En este trabajo se destaca la importancia de conocer las teorías sobre el aprendizaje, no sólo porque nos ayudan diseñar mejor el trabajo en el aula, sino también porque es una condición necesaria para el avance colectivo de la enseñanza.

SUMMARY

It is frequent to find teachers who believe that teaching is all about knowledge of the subject or teaching practice and having some teaching experience. However, it is very important to know about the theory (or theories) of teaching too, not only because it helps us to prepare classroom work better but also because it is a necessary pre-requisite for the development of teaching in general.

Palabras clave: epistemología, historia de la geología, didáctica de la geología.

Keywords: epistemology, history of geology, geology education

Seguramente, nadie ha aportado más a nuestro conocimiento acerca de cómo aprenden los alumnos que Piaget y la Escuela de Ginebra. Hace ahora 25 años que dos investigadoras de esta Escuela, Annette Karmiloff-Smith y Barbel Inhelder publicaban en la revista *Infancia y Aprendizaje* un excelente artículo que titulaban “*Si quieres avanzar hazte con una teoría*” en el que exponían los resultados de una investigación que habían realizado con niños de entre 4 y 10 años sobre “teorías en acción”. El título que he dado a esta conferencia es un homenaje a su trabajo, pero es un homenaje interesado porque no se me ocurre una forma más directa, sencilla y elocuente de resumir lo que pretendo comunicar: a pesar del encomiable esfuerzo de nuestra revista y de tantas otras, los avances que se están produciendo en la enseñanza y el aprendizaje de la geología en nuestras aulas son muy limitados, y lo son, en buena medida, porque trabajamos al margen de las teorías sobre la enseñanza. Teorías que, con independencia de sus evidentes limitaciones, constituyen un instrumento fundamental sin el cual las posibilidades de progresar son escasas y, si se producen, no constituirán un conocimiento compartido susceptible de ser transferido de una persona a otra.

El problema podríamos plantearlo así: Si dejamos a un lado que ahora se habla de tectónica de placas y que a veces se usa un DVD o Internet, la enseñanza de la geología en muchas de nuestras

aulas es similar a la de hace 50 o 100 años, nada substancial parece haber cambiado. ¿A qué puede deberse esta situación? ¿No ha habido en todo este tiempo ninguna aportación teórica o empírica que haya proporcionado alguna luz? ¿No se sabe hoy nada acerca de las dificultades de aprendizaje que muestran nuestros alumnos y el modo de reducirlas?

Buena parte del profesorado desconoce las teorías, las propuestas y las conclusiones básicas que vienen aportándose en las últimas décadas para entender mejor cómo aprenden los estudiantes y cómo pueden enseñarse las ciencias para favorecer su aprendizaje (Porlán et al, 1998). Desconocimiento que es causa, pero también consecuencia, de la escasa valoración que, en general, se siente por las aportaciones teóricas que se realizan desde la didáctica. Saunders y Bingham-Newman (1989) recogen la siguiente expresión que consideran representativa de lo que piensa parte del profesorado: “*Los teóricos van y vienen, a una moda educativa le sigue otra, y nosotros seguimos haciendo básicamente los mismo de siempre.*”

La situación, a mi juicio, es especialmente grave en la educación secundaria. En primaria hay algo más de conocimiento de estas cuestiones (aunque menos de otras) pero, sobre todo, hay más sensibilidad hacia ellas. Entre el profesorado

(*) IES de Gines (Sevilla)



universitario que no pertenece a las facultades de educación la valoración de la didáctica es incluso más baja que en el de secundaria pero la edad, la formación y el interés del alumnado con el que trabaja reducen notablemente los problemas de aprendizaje a los que deben enfrentarse siendo, en consecuencia, su necesidad menos perentoria.

Con independencia de la crítica más o menos justificada que pueda hacerse a las aportaciones de los teóricos e investigadores de la didáctica, me gustaría mostrar que existen poderosas razones para que los profesores nos interese por sus propuestas y conclusiones. Así, apoyándome en la epistemología, en la historia de la ciencia y en las teorías sobre el aprendizaje querría desarrollar las siguientes ideas generales:

- Para avanzar en cualquier ciencia son imprescindibles las teorías.
- Una teoría insuficiente es mejor que la ausencia de teoría.
- Cualquier teoría del aprendizaje, actual o futura, necesita una concreción en las ciencias de la Tierra.
- Seleccionar las ideas clave para una comprensión básica de las ciencias de la Tierra y analizar sus dificultades de aprendizaje son tareas imprescindibles.
- No menos imprescindible es organizar y secuenciar los contenidos atendiendo a las exigencias de cada conocimiento y al modo en que aprenden los estudiantes.
- Avanzar en la enseñanza de la geología nos compete a todos. Es necesario conocer las investigaciones y propuestas que se realizan, valorarlas desde una perspectiva crítica y contrastarlas en nuestras aulas.

PARA AVANZAR EN CUALQUIER CIENCIA SON IMPRESCINDIBLES LAS TEORÍAS

En una conocida metáfora, Popper (1959) nos dice que *“Las teorías son redes que lanzamos para apresar aquello que llamamos “el mundo”: para racionalizarlo, explicarlo y dominarlo. Y tratamos que la malla sea cada vez más fina.”*. En esta frase se hallan implícitas dos ideas que me parecen básicas: a) que las teorías son “invenciones”, creaciones de nuestra mente para entender y predecir lo que sucede a nuestro alrededor y b) que el avance en el conocimiento supone una progresiva sustitución de unas teorías por otras potencialmente más explicativas (de malla más fina). Estas ideas son válidas tanto si lo que pensamos acerca del desarrollo científico a lo largo de la historia responde a la perspectiva de Kuhn (1962) y sus revoluciones científicas, como a la de Lakatos (1978) y sus programas de investigación, o a la de Toulmin (1972) y su modelo darwiniano de competencia y selección de teorías.

El papel de la teoría es básico en todas las áreas del conocimiento. Cualquier ciencia, tanto si es

experimental como si no, necesita un cuerpo teórico organizado. Y esto vale para la física o la geología pero también para la economía, la etnografía o la didáctica. Toda ciencia nace cuando lo hacen las teorías que le dan sentido y se desarrolla y avanza al mismo tiempo que su cuerpo teórico. No hay ninguna ciencia que haya nacido con un cuerpo teórico muy elaborado y consistente, esa circunstancia ha llegado más tarde gracias a las aportaciones de personas que han criticado las limitaciones de las teorías vigentes en su momento y las han enriquecido, complementado o sustituido por otras con mayor potencial explicativo.

En contra de lo que se sostiene desde posiciones inductivistas, generalmente las teorías preceden a la observación, la dirigen, le dan sentido. La realidad es tan compleja y admite tantas perspectivas diferentes que las observaciones que pueden realizarse son siempre infinitas, y esto ocurre tanto si lo que observamos es un afloramiento como si es un árbol o un aula. Quizá por eso, Ramón y Cajal (1922), en sus *“Reglas y consejos sobre la investigación científica”* señalaba: *“La hipótesis es un instrumento lógico sin el cual ni la observación misma puede realizarse”*. Una teoría nos proporciona una hipótesis de observación (o varias) que nos permite seleccionar de esa infinidad de datos que pueden recogerse aquellos que resultan relevantes para el objetivo de nuestra investigación, pero también nos ayuda a relacionar estos datos a darles sentido, a detectar si existe algo que no encaja, algo que no sólo falsa nuestra hipótesis sino que puede poner en crisis la propia teoría en la que se inscribe.

Entre los muchos ejemplos que pueden ofrecerse para mostrar la importancia de las teorías y su influencia en la forma de ver el mundo que nos rodea querría elegir uno del “padre oficial” de la geología. James Hutton (1726-1797) consideraba que la historia de la Tierra consistía en una sucesión de ciclos a lo largo de los cuales, gracias al calor del interior del planeta, se originaba un relieve que iría erosionándose, dando lugar a la formación de nuevas rocas en los fondos marinos que de nuevo serían levantadas y plegadas, repitiéndose el ciclo indefinidamente.

Él había imaginado que el límite entre un ciclo y el siguiente debería identificarse por la presencia de lo que hoy llamaríamos una discordancia angular y erosiva, pero no había encontrado ninguna en el campo. Gohau (1987) subraya que Deluc, naturalista de gran prestigio contemporáneo de Hutton, había observado calizas horizontales dispuestas sobre esquistos replegados sin reparar en la importancia de este hecho ni atribuirle significado especial alguno. Sin embargo, a la vista de la descripción de Deluc, Hutton entiende que los esquistos han sido seccionados por la erosión y, por tanto, habrían estado emergidos antes de que se depositase la caliza ya en un ambiente marino. Había supuesto cómo debía ser una discordancia sin haberla visto en el campo y predijo que se encontrarían muchas más similares a la descrita por



Deluc, de ahí su euforia al encontrar en Siccar Point lo que andaba buscando. Su compañero y discípulo Playfair nos narra el feliz momento del hallazgo:

“Nosotros, que veíamos estos fenómenos por primera vez, recibimos una impresión que no se nos olvidará fácilmente. Las pruebas palpables que nos aparecían, de uno de los más extraordinarios e importantes hechos de la historia natural de la Tierra, otorgaban realidad a aquellas especulaciones teóricas que, aunque probables, nunca hasta ahora habían podido autenticarse realmente por el testimonio de los sentidos.(...) Nos sentíamos como si retrocediéramos a los tiempos en los cuales los esquistos, sobre los que estábamos situados, estaban aún en el fondo del mar, y en los que las areniscas que teníamos enfrente empezaban solamente a depositarse en forma de arena o lodo (...) Todavía aparecía una época más remota en la que incluso los más antiguos de estos terrenos, en vez estar situados verticalmente en capas, yacían según planos horizontales en el fondo del mar, y no habían sido aún inquietados por esta inconmensurable fuerza (...) Todavía aparecían revoluciones más remotas en la distancia de esta perspectiva extraordinaria. Nuestros pensamientos se volvían vertiginosos al contemplar momentos tan remotos en el abismo del tiempo...”

(Citado por Hallam, 1985)

Las teorías plutonistas de Hutton eran mecanicistas, tenían numerosas limitaciones y pronto fueron superadas, sin embargo permitieron avanzar en el conocimiento e interpretación de la naturaleza.

UNA TEORÍA INSUFICIENTE ES MEJOR QUE LA AUSENCIA DE TEORÍA

Quizá habría que empezar por reconocer que las teorías del aprendizaje se encuentran en un bajo nivel de desarrollo. No es extraño que sea así. A pesar del progreso de la neurobiología, se tienen muchas dudas acerca de cómo funciona el sistema cognitivo humano y esta circunstancia dificulta inevitablemente el avance en el terreno que nos ocupa. Pero la menor consistencia de un área del saber no puede ser excusa para desconsiderar todo el conocimiento teórico y empírico de que dispone, desde luego no para los profesionales de esa área, los enseñantes en este caso, aunque sólo fuese porque si lo hacemos nos quedamos inermes.

Entre las teorías del aprendizaje, el constructivismo es el goza de una aceptación más generalizada. Sin embargo, a pesar de que hace casi 20 años que Novak (1988) lo consideró el “paradigma emergente” las expectativas generadas entonces no se han visto plenamente cubiertas por su desarrollo posterior. Con todo, el constructivismo ofrece hoy un marco general que ayuda a entender ciertos problemas del aprendizaje y proporciona algunas pautas para la enseñanza (ver, por ejemplo, Jiménez Aleixandre et al, 2003;

Pozo y Gómez Crespo,1998; o Sanmartí, 2002). Así, uno de los principios básicos del constructivismo sostiene que los estudiantes (y los profesores) interpretan toda la información que se les proporciona a partir de las ideas que ya tienen. Esas ideas son los instrumentos que utilizan para dar sentido a lo que les llega, y las utilizan tanto si lo que saben coincide con el conocimiento escolar que se les quiere transmitir como si no. De ahí la importancia de conocer qué saben los alumnos sobre la temática que queremos enseñarles.

Hay datos abrumadores, y no sólo teorías, que nos muestran que los estudiantes no son una pizarra en blanco en la que basta con “escribir con buena letra” aquello que queremos que sepan para que así ocurra. ¿Cómo puede todavía enseñarse como si fuese así? ¿Cómo podemos actuar como si bastase con expresar con claridad una idea para que nuestros alumnos la aprendan tal y como se la estamos diciendo? ¿No hemos podido comprobar que esa idea es integrada de manera distinta por cada uno de ellos? ¿Por qué seguimos pensando que si no incorporan lo que les decimos, tal y como lo hacemos, es sólo porque les falta atención o capacidad?

Para enseñar no basta con saberse la materia, ésta es una condición necesaria pero no suficiente. Y, con ser importante, tampoco basta con lo que nos va proporcionando a cada uno de nosotros la experiencia. Esa perspectiva es responsable de que se enseñe hoy igual que hace un siglo, ¿tiene sentido que generación tras generación andemos tropezando todos los profesores en las mismas piedras?

Para evitar que nuestro trabajo reproduzca el mito de Sísifo, en el que cada uno coge la roca en la base de la montaña y comienza a subirla, pero el siguiente no la coge en el lugar en el que la hemos dejado sino que vuelve a hacerlo de nuevo en la base de la montaña, es imprescindible que conozcamos las teorías actuales sobre el aprendizaje y las conclusiones que va proporcionando la investigación didáctica. Estas conclusiones serán parciales y provisionales, siempre lo son en todas las ciencias, y pueden tener menos consistencia de la que deseáramos pero, aun así, nos proporcionan un marco interpretativo útil que nos ayuda colectivamente a avanzar.

Veamos un ejemplo ilustrativo. Uno de los pasajes más interesantes de cuantos nos proporciona la historia de la geología es el de la evolución de las ideas sobre la edad de la Tierra. Desde el siglo IV hasta el XVIII la mayor parte de los científicos y naturalistas (Steno y Newton incluidos) consideraban que la Tierra tenía unos 6000 años de antigüedad. Ya a mediados del XIX se tenía claro que la antigüedad era mucho mayor. Sin embargo, no se habían puesto cifras. Hutton tuvo consciencia clara de la extraordinaria edad de la Tierra, por eso habló del “abismo del tiempo”, pero no hizo cálculos, su idea cíclica de la dinámica terrestre le llevaba a pensar que no era posible conocerla ya que cada ciclo borraría el anterior y



desconocemos cuántos ciclos ha habido: “no encontramos huellas de un principio ni perspectiva de un final”. Lyell (1797-1875), por su parte, estaba mucho más interesado en combatir las ideas catastrofistas que en conocer la edad de la Tierra y para ello le bastaba con romper la barrera temporal.

Darwin, sin embargo, necesitaba saber que disponía del tiempo requerido para que el proceso evolutivo que había propuesto pudiera proporcionar la diversidad biológica actual, y no se resignaba a carecer de una referencia temporal. De manera que, en vista de que los geólogos no le solucionaban el problema, utilizando las ideas uniformistas de Lyell ideó un sistema de cálculo y lo incluyó al final de la primera edición del origen de las especies:

“Siento la tentación de dar aún otro caso, el tan conocido de la erosión del Weald. Aunque es preciso admitir que la erosión del Weald no ha sido más que una bagatela en comparación con la que ha arrastrado masas de nuestros estratos paleozoicos, a veces hasta 3.000 metros de profundidad, como lo muestra el magnífico informe del profesor Ramsay sobre el tema. No obstante erguirse en los Downs del Norte y contemplar los distantes Downs del Sur constituye una admirable lección; pues al tener en cuenta que una distancia no muy grande hacia el oeste, los acantilados del norte y del sur se unen y se cierran, es posible imaginar sin dificultades la gran bóveda de roca que debió cubrir el Weald en un período tan limitado como la última parte de la formación cretácica. La distancia que va desde los Downs del norte a los del sur es de unos 40 km., y el espesor de las varias formaciones es de un promedio de 360 m (...)

Entonces, si conociéramos el ritmo con que el mar desgasta comúnmente una línea de acantilado de cualquier altura dada, podríamos medir el tiempo requerido para que erosionara el Weald. Esto, por supuesto, no es posible; pero, con el fin de obtener alguna rudimentaria noción acerca del tema, podríamos suponer que el mar carcome acantilados de unos 160 m de altura a un ritmo de unos 2,5 cm por siglo. (...) Por otra parte, no creo que ningún litoral, de 18 o 36 km. de longitud, sufra alguna vez degradación simultáneamente a lo largo de toda su extensión indentada; y debemos recordar que casi todos los estratos contienen capas o nódulos más puros que, a fuerza de resistir el desgaste durante largo tiempo, forman en la base un rompeolas. De ahí que, en circunstancias ordinarias, considero que para un acantilado de 160 metros de altura, una erosión de unos centímetros por siglo en toda su extensión, sería una estimación holgada. A este ritmo, según los datos precedentes, la erosión del Weald debió haber requerido 306.662.400 años; o, digamos, 300 millones de años.

(...) He hecho estas pocas observaciones porque es muy importante para nosotros

obtener cierta noción, aunque imperfecta, del transcurso de los años. Durante cada uno de ellos, en todo el mundo, la tierra y el agua han estado pobladas por hordas de formas vivientes. ¡Qué número infinito de generaciones, inconcebible para la imaginación, ha tenido que haberse sucedido en el discurrir interminable de las eras! Volvamos la vista ahora a nuestros museos geológicos más ricos y ¡qué exiguas colecciones vemos!”

Se trataba, sin duda, de unos cálculos rudimentarios y Darwin no lo ocultaba. Su pretensión era mostrar que resultaba posible hacer un cálculo científico de la edad de la Tierra. La dureza de las críticas que recibió, le aconsejó retirar estos párrafos en la 2ª edición de su obra. Con todo, y a pesar de los quebraderos de cabeza que le produjo, Darwin consiguió en buena medida lo que pretendía y a partir de ese momento se desarrollan diferentes estudios para determinar la edad de la Tierra. La respuesta definitiva al problema aun tardaría en llegar pero se había iniciado el camino que ayudaba a avanzar.

LAS TEORÍAS DEL APRENDIZAJE NECESITAN UNA CONCRECIÓN EN LA GEOLOGÍA

Al margen de cómo evolucionen las teorías del aprendizaje en general y la didáctica de las ciencias en particular, no hay duda de que la geología posee unas particularidades que sólo pueden atenderse desde estudios específicos, nadie desde fuera de esta ciencia va a resolvernos cuestiones como ¿cuáles son las ideas clave para tener un conocimiento geológico básico?, ¿cuáles son las dificultades de aprendizaje que ofrecen estas ideas clave?, ¿cómo podemos secuenciar y organizar estos conocimientos para favorecer su aprendizaje?, ¿qué tipos de actividades pueden ayudarnos en esta tarea? Y si nadie desde fuera nos las va a resolver, a ellas deberíamos dedicarles una atención prioritaria.

Resulta descorazonador ver cómo reforma educativa tras reforma educativa el Ministerio de Educación español cambia los programas sin exponer los criterios que le han guiado y sin utilizar las propuestas y conclusiones más fundadas proporcionadas por la investigación didáctica. Si no que, como vimos con la LOCE, reparte de manera arbitraria un conjunto deslavazado de contenidos que plantea sin señalar qué nivel de formulación conviene trabajar (Pedrinaci, 2002). De esta forma favorece esos programas tan reiterativos que tenemos e impide establecer una secuencia de progresión de unos cursos a otros.

Bruner (1969) subraya la importancia de definir las ideas básicas que ayudan a articular el currículum y pueden actuar como elementos organizadores de los contenidos objeto de la enseñanza. Ciertamente es que, dado el volumen de conocimientos que acumula la geología, no resulta fácil delimitar cuáles de ellos son los que



estructuran esta ciencia y, sin embargo, hacerlo es un paso obligado para elaborar una propuesta de enseñanza fundada (Brown et al, 2001; Duschl, 2001).

Para desentrañar los conocimientos clave de una disciplina Gowin (citado por Novak, 1982) sugiere un conjunto de interrogantes, de los cuales reseñamos los de mayor utilidad para el caso que nos ocupa:

- ¿Cuáles son las preguntas clave a las que responde el conocimiento de la disciplina en cuestión?
- ¿Cuáles son los conceptos clave?
- ¿Qué métodos de investigación utiliza para generar el conocimiento?
- ¿Cuáles son las afirmaciones principales que formula en respuesta a las preguntas clave?

Seguiremos brevemente este esquema (para más detalle ver Pedrinaci, 2003).

¿CUÁLES SON LAS PREGUNTAS CLAVE?

La historia de la geología nos proporciona los principales problemas que se han planteado diferentes pensadores a lo largo del desarrollo de esta ciencia. El tratamiento de estos problemas ha propiciado la generación de hipótesis, procedimientos de investigación y teorías que contribuyeron a la construcción del conocimiento geológico. Su interés aumenta en la medida en que algunos de estos interrogantes unen a su relevancia para la geología una gran potencialidad didáctica, de manera que pueden utilizarse como problemas en torno a los cuales se organicen y estructuren actividades de aprendizaje.

Así, la lentitud con la que ocurren la mayor parte de los procesos geológicos hace que el relieve terrestre aparezca como inmutable. Eso explica que la perspectiva estática haya sido tan frecuente entre los pensadores de los siglos XVI, XVII e incluso XVIII. Durante este largo período, buena parte de los debates fundamentales se establecían en torno a si nuestro planeta cambiaba y qué procesos eran capaces de generar cambios relevantes en el relieve. No fue fácil abandonar la idea de que, exceptuando los terremotos o los volcanes, sólo una gran catástrofe (como el diluvio de Noé) podía modificar sustancialmente el relieve terrestre. Aunque con formulaciones diferentes, la perspectiva estática ha estado presente a lo largo del siglo XIX y dos terceras partes del XX bajo la forma de teorías fijistas. Como representación de este tipo de problemas podemos seleccionar algunos de los interrogantes que, con esta u otra formulación, han suscitado intereses y debates a lo largo de la historia de la geología:

- *¿Nuestro planeta ha sido siempre como lo vemos hoy?*
- *¿Por qué cambia el relieve de unos sitios a otros?*
- *¿Qué procesos producen cambios en la Tierra?*

- *¿Cuál es la energía que genera estos procesos?*

En otras ocasiones la dificultad de interpretación del pasado terrestre no residía tanto en que se adoptase una perspectiva estática cuanto que se estaba convencido de que la Tierra no guardaba “archivos” que permitieran reconstruir su pasado. Descubrir que las rocas eran esos archivos y que estaban cargadas de información susceptible de ser descifrada, ofreció la posibilidad de conocer no sólo la historia de la Tierra sino también la de la vida que había quedado registrada en los fósiles. Probablemente jamás se ha producido un cambio más relevante en la forma de ver las rocas. Describir su textura y composición pasó a ser un procedimiento para conocer el origen de las rocas y la historia de la Tierra. Preguntas representativas de estos problemas son:

- *¿Podemos conocer el pasado terrestre?*
- *¿Existe algún registro de ese pasado?*
- *¿Cómo podemos descifrarlo?*
- *¿Han sido diferentes los procesos geológicos en el pasado y en la actualidad?*

Otro grupo de problemas geológicos de primera magnitud ha estado relacionado con el origen de las montañas, en general, y con la tectónica de placas en particular. Preguntas representativas de ellos son:

- *¿Por qué hay fósiles marinos en las cumbres de algunas montañas?*
- *¿Cuál es el origen de las montañas?*
- *¿Por qué no se distribuyen de manera homogénea los terremotos y los volcanes?*
- *¿Los continentes y los océanos son estructuras permanentes?*
- *¿Hay evidencias de que los continentes se muevan?*
- *¿Qué mueve a los continentes?*

Tras adoptarse la tectónica de placas como marco interpretativo que relaciona y da sentido a todos los procesos geológicos internos, la búsqueda se ha dirigido a la construcción de modelos interpretativos globales que permitieran analizar las interacciones entre la Tierra sólida, las capas fluidas del planeta y los seres vivos (American Geophysical Union, 1997). Problemas representativos son:

- *¿Existen interacciones entre la dinámica externa y la interna?*
- *En definitiva, ¿Cómo funciona la Tierra?*
- *¿Puede predecirse cómo será la Tierra en el futuro?*
- *¿La actividad humana está condicionando ese futuro?*

Se trata de problemas que no sólo han centrado el interés de los científicos en algún momento de la historia sino que constituyen algunas de las principales preguntas a las que debe responder el conocimiento de las ciencias de la Tierra en la educación secundaria y se convierten en organizadores adecuados de un programa básico para el aprendizaje de la geología.



¿QUÉ MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN UTILIZA LA GEOLOGÍA PARA GENERAR EL CONOCIMIENTO?

La geología suele incluirse dentro de las ciencias experimentales. Sin embargo, es una decisión discutible. La geología se ocupa del estudio de un sistema, el terrestre, que se encuentra en permanente cambio por lo que las situaciones que en él se suceden son, por definición, irrepetibles. Esto ha favorecido que algunos epistemólogos la incluyan dentro de las ciencias históricas. No faltan razones para que se le dé esta ubicación ya que, aunque ciertos procesos de los que se ocupa la geología son replicables en el laboratorio, quizá sea su componente histórica la que ha permitido que la geología no haya quedado reducida a una física y una química aplicada al estudio de la Tierra. En cualquier caso, y con independencia del grupo de ciencias en el que se decida incluirla, la geología tiene un indudable componente experimental así como otro componente histórico no menos importante.

En tanto que ciencia experimental, en sus investigaciones utiliza los métodos habituales en otras ciencias: observación, medición, análisis de datos, clasificación, elaboración de hipótesis, contrastación, etc. Conviene centrarse en los métodos relacionados con su componente histórica que, además de ser específicos, han proporcionado buena parte de los principios básicos y procedimientos sobre los que se ha construido el conocimiento geológico:

- El *actualismo*, entendido como método de análisis que permite inferir lo ocurrido en el pasado a partir del estudio de los procesos que operan en la actualidad. Aunque el actualismo fue el método usual de los uniformistas, no es necesariamente gradualista, de manera que es utilizado también desde las perspectivas neocatastrofistas y, en consecuencia, continúa teniendo plena vigencia.
- *Los Principios de horizontalidad original y de superposición de los estratos*, propuestos en 1669 por Steno. A pesar de las matizaciones y limitaciones que hoy se introducen tanto al principio de horizontalidad como al de superposición, continúan siendo básicos para el establecimiento de cronologías relativas y, en consecuencia, para la reconstrucción de la historia geológica de cualquier zona. Incluso, una elemental perspectiva dinámica del relieve demanda el uso de estos principios para el establecimiento de secuencias causales.
- *Principio de relaciones cruzadas (crosscutting relations)*: Según el cual todo proceso geológico es posterior a los materiales y a las estructuras que afecta.

Todos estos principios geológicos tienen una gran potencialidad didáctica y afortunadamente no encierran dificultades para su aprendizaje, de manera que pueden y deben ser utilizados por estudiantes de 14-16 años, por ejemplo en la interpretación de cortes geológicos sencillos.

¿CUÁLES SON LAS AFIRMACIONES CLAVE?

De manera sintética, ofrecemos en la tabla I unas respuestas no lineales a las preguntas clave que antes hemos formulado. Son afirmaciones que concretan los conocimientos que debería incluir una geología básica.

¿QUÉ DIFICULTADES DE APRENDIZAJE PRESENTAN ESTOS CONOCIMIENTOS CLAVE?

Puede parecer una obviedad señalar que no todos los conocimientos geológicos ofrecen las mismas dificultades, pero los diseñadores de los currícula oficiales suelen olvidarlo con más frecuencia de lo que sería razonable. En todo caso, el asunto es tan complejo como interesante. Ya Bachelard (1938) destacaba la importancia de detectar las dificultades de aprendizaje. Entender dónde residen estas dificultades es, seguramente, uno de los requisitos fundamentales para avanzar en la enseñanza de la geología en la medida en que ayuda a seleccionar mejor los contenidos, a elegir un nivel de formulación adecuado, a secuenciarlos de manera que se facilite su aprendizaje o a proponer actividades específicas que ayuden a superar estas dificultades.

Tres son las fuentes que deben utilizarse para detectar y valorar estas dificultades:

- *La historia de la geología*: muestra cuándo se han generado determinados conceptos, teorías o procedimientos, su utilidad y las dificultades que han debido franquear antes de ser aceptados por la comunidad científica.
- *El análisis epistemológico*: ayuda a conocer la estructura interna de la geología y la complejidad de ciertos conocimientos, a constatar que las teorías no se derivan linealmente de los hechos y que una descripción de un hecho ha sido utilizada con frecuencia para avalar teorías contrapuestas.
- *El análisis de las ideas de los estudiantes*: pone en guardia sobre el modo en que interpretan determinadas informaciones y experiencias, o la dificultad que parecen ofrecer ciertos conocimientos.

Aunque desde perspectivas diferentes, estas tres fuentes informan de los procesos de construcción del conocimiento y, por tanto, de las dificultades con las que dicha construcción ha tropezado en el pasado o parecen tropezar hoy los estudiantes. No es posible incluir aquí un análisis pormenorizado de las aportaciones que se han realizado desde cada una de ellas (puede encontrarse en Pedrinaci, 2001). Haremos una síntesis seleccionando aquellos conocimientos en cuya dificultad de apropiación coinciden las tres fuentes:



¿Cuáles son las preguntas clave?	¿Cuáles son las afirmaciones principales?
<i>¿Nuestro planeta ha sido siempre como lo vemos hoy?</i>	1. La Tierra está sometida a cambios; unos son graduales y continuos, otros esporádicos e intensos.
<i>¿Por qué cambia el relieve de unos sitios a otros?</i> <i>¿Qué procesos producen cambios en la Tierra?</i> <i>¿Cuál es la energía que genera estos procesos?</i>	2. Algunos de estos cambios son motivados por los agentes externos, que tienen en el Sol y en la gravedad sus fuentes de energía. 3. Otros cambios son causados por procesos internos, que son activados por la energía térmica del interior terrestre y la gravedad.
<i>¿Por qué hay fósiles marinos en las cumbres de algunas montañas?</i> <i>¿Cuál es el origen de las montañas?</i> <i>¿Por qué no se distribuyen de manera homogénea los terremotos y los volcanes?</i> <i>¿Los continentes y los océanos son estructuras permanentes?</i> <i>¿Hay evidencias de que los continentes se muevan?</i> <i>¿Qué mueve a los continentes?</i>	4. La tectónica de placas ofrece un modelo de flujo de materia y energía que explica de manera global y coherente los procesos geológicos internos y sus efectos en la superficie terrestre.
<i>¿Podemos conocer el pasado terrestre?</i> <i>¿Existe algún registro de ese pasado?</i> <i>¿Cómo podemos descifrarlo?</i>	5. Los cambios dejan huellas, bien por los materiales que originan o bien por las formas y estructuras resultantes. 6. Las rocas pueden ser consideradas “archivos” que contienen información sobre las condiciones en que se formaron y los cambios posteriores que han experimentado.
<i>¿Han sido diferentes los procesos geológicos en el pasado y en la actualidad?</i>	7. Utilizando el actualismo como método de análisis podemos reconstruir los cambios ocurridos en el pasado.
<i>¿Existen interacciones entre la dinámica externa y la interna?</i> <i>En definitiva, ¿Cómo funciona la Tierra?</i>	8. Entre los procesos internos y los externos se producen interacciones. El relieve terrestre es consecuencia de esas interacciones.
<i>¿Puede predecirse cómo será la Tierra en el futuro?</i> <i>¿La actividad humana está condicionando ese futuro?</i>	9. Las actividades humanas, sea de manera consciente o involuntaria, están alterando gravemente el planeta Tierra.

Tabla I

Una Tierra dinámica

Como se ha dicho, la perspectiva estática de la Tierra (bien en su versión “Tierra inmutable” o bien en su versión fijista) ha constituido a lo largo de la historia de la geología el obstáculo más persistente para la construcción de un modelo explicativo del funcionamiento de la Tierra. Señalan Toulmin y Goodfield (1990) que “reconocer la mutabilidad de la Tierra, de los seres vivos que han habitado en ella y hasta de los cielos mismos, es algo que los hombres sólo hacen bajo la presión de argumentos abrumadores”.

No hay duda de que históricamente ha resultado difícil la introducción de la perspectiva dinámica, pero ¿ocurre algo parecido con los estudiantes de secundaria? La percepción inicial de nuestra experiencia en el aula sería que no, más bien lo que sorprende es que el modelo movilista parece entrar con facilidad, con demasiada facilidad. Seguramente ocurre lo que señala Astolfi (1993) refiriéndose a otro campo conceptual: “cuando se les explica la evolución de los seres vivos, en general no experimentan dificultad alguna y, por el contrario se muestran de acuerdo de forma inmediata (...) Los alumnos creen que comprenden



el concepto que se les expone, pero lo que les falta es poder comprender lo que ha sido preciso construir (y sobre todo, a qué ha sido preciso renunciar) para que aquél adquiriera sentido". Probablemente, la perspectiva dinámica sea la dificultad más determinante y la primera que deba considerarse para el aprendizaje de la geología en la educación secundaria.

Causalidad y cambios en la superficie terrestre

Históricamente, la idea de una superficie terrestre inmutable ha estado relacionada, de una parte, con una observación de la naturaleza en la que la unidad de tiempo utilizada era la escala temporal humana (en general, demasiado breve para apreciar cambios relevantes) y, de otra, con el convencimiento de que ninguno de los procesos actuales permitía introducir cambios notables en el relieve. No es de extrañar, en consecuencia, que la perspectiva estática y el catastrofismo hayan estado muy relacionados: si, por alguna razón, debe admitirse la ocurrencia de un cambio importante, una catástrofe excepcional permite mantener globalmente el esquema interpretativo estático para las situaciones habituales.

También los estudiantes parecen mostrar cierta propensión al catastrofismo (Pedrinaci, 1992; Gohau, 1995). Debemos aclarar que se trata de un catastrofismo precientífico. Es decir, una perspectiva que nada tiene que ver con las posiciones neocatastrofistas actuales, ni con el catastrofismo sostenido por muchos científicos de la primera mitad del XIX, sino más bien con el de épocas anteriores al XVIII. En esta perspectiva únicamente se tienen en cuenta las situaciones inicial y final. No sólo se desconocen los procesos ocurridos entre ambas sino que se renuncia a entenderlos, recurriendo a una catástrofe que de manera tan instantánea como inexplicable provocaría el efecto buscado. Así, unos terremotos bastarían para elevar una cordillera o dividir un continente. La importancia del catastrofismo precientífico como obstáculo para el aprendizaje radicaría en su capacidad para inhibir el cuestionamiento sobre los procesos geológicos, sus causas, sus consecuencias y su funcionamiento.

El origen de las rocas

No ha resultado fácil construir la idea de que las rocas se han ido originando a lo largo de toda la historia del planeta y continuarán haciéndolo en el futuro. Durante mucho tiempo los naturalistas entendieron que las rocas que hoy vemos se habían formado al mismo tiempo que la Tierra. Estaban tan convencidos de ello que hasta el siglo XVII no sólo se carece de teorías sobre el origen de las rocas sino que ni se planteó formalmente el problema. No había nada que explicar y al carecer de interrogantes no se buscaban respuestas.

No parece casual que tanto los naturalistas de otras épocas como muchos de los estudiantes consideren la formación de las rocas cosa del pasado remoto, pues exceptuando algunas volcánicas, no observamos la formación de ninguna roca nueva. El

ritmo al que se producen estos procesos, unido a que suelen ocurrir a cierta profundidad, hace que permanezcan ocultos a la mirada del observador. La experiencia personal es que no se originan nuevas rocas. Todo esto ha causado que las teorías sobre la génesis de las rocas hayan debido abrirse paso contra todas las evidencias de sentido común que parecían sugerir lo contrario.

Diversidad y amplitud de las escalas espaciales

El estudio del funcionamiento de la Tierra exige la utilización de escalas espaciales de miles de kilómetros pero también otras escalas mucho menores. Los procesos implicados demandan, con frecuencia, la transferencia de datos de una escala a la otra y los estudiantes tienen dificultad para saber de qué escala estamos hablando y hacer los ajustes necesarios.

El concepto de tiempo geológico

Si entre los conceptos básicos de la geología existe uno que unánimemente sea destacado como difícil es el del tiempo geológico. Sin embargo, suele hacerse referencia sólo a la dificultad que supone imaginar cifras temporales como las usuales en geología y, en consecuencia, se proponen estrategias para su enseñanza que ayudan a dar sentido a esas escalas temporales (por ej. Wilkinson, 2002). Me temo, sin embargo, que ésta es sólo una de las variables que hacen complejo el problema de la construcción del tiempo geológico.

Quizá debamos preguntarnos ¿Por qué los filósofos y científicos han considerado hasta hace apenas dos siglos que la edad de la Tierra era de unos 6.000 años? ¿Por qué se ha identificado historia de la Tierra e historia de la humanidad? ¿Por qué ha resultado tan difícil establecer una secuencia de acontecimientos que fuese más allá de la diferenciación entre fases pre y postdiluviana? No son preguntas de respuesta fácil, pero bastan para alertarnos sobre la dificultad que presenta la construcción del concepto de tiempo geológico. Toulmin y Goodfield (1990) han realizado un excelente análisis del proceso seguido por las ideas sobre la edad de la Tierra y el concepto de tiempo geológico que subyace en ellas.

Entendemos que la complejidad del concepto de tiempo geológico es consecuencia de estar construido por cuatro nociones, ninguna de ellas simple: *cambio geológico*, *facies*, *sucesión causal* y *cronología* (un tratamiento más detallado puede verse en Pedrinaci y Berjillos, 1994).

El concepto de interacción

La dificultad de los estudiantes para interpretar los cambios en términos de interacción y su tendencia a considerarlos como resultado de procesos de adición ha sido mostrada por diversos autores (Pozo et al, 1991; García, 2001). En el aprendizaje de la geología se manifiesta esta tendencia en la interpretación de una variada gama de procesos, aunque puede que en ninguno de forma



tan clara como en el origen de las cordilleras. También en la historia de la geología encontramos científicos que han explicado el origen de las cordilleras como consecuencia de acumulación de materiales más que como un proceso de interacción. Entre ellos destacó Abraham G. Werner (1749-1817), fundador de las ideas neptunistas.

SECUENCIAR Y ORGANIZAR LOS CONTENIDOS: ALGO MÁS QUE SENTIDO COMÚN

En este repaso apresurado que estamos haciendo acerca de la importancia de contar con teorías a la hora de tomar decisiones sobre la enseñanza, no podemos dejar de mencionar, siquiera sea brevemente, una tarea en la que se concretan muchas de nuestras ideas sobre cómo aprenden los estudiantes y a la que no siempre le dedicamos la atención que se merece: secuenciar y organizar contenidos.

Si los conocimientos que se quieren enseñar fuesen independientes unos de otros y si todos tuviesen la misma complejidad, poco importaría la organización que se les diese o su orden de tratamiento. Si la forma en que mejor se adquiere el conocimiento siguiese la pauta establecida por la lógica de cada disciplina ya formalizada (por ejemplo: átomos, compuestos, cristales, minerales, rocas, estructura de la Tierra...) o bien el orden estricto en que han sido generados por los científicos a lo largo de la historia del pensamiento, poco interés tendría detenerse a analizar la secuenciación de los contenidos y, en todo caso, no sería abordada como problema sino, más bien, como ejercicio en el que la simple aplicación del procedimiento definido condujese a la respuesta correcta. Pero si se está convencido de que determinados aprendizajes no se adquieren si antes no se poseen ciertas nociones de otros, o si se valora la importancia que tiene la cantidad y cualidad de las relaciones establecidas entre los nuevos conocimientos y lo que el alumno ya sabe. Si, en definitiva, se es consciente de la influencia que en el aprendizaje ejerce el orden de tratamiento de los contenidos y la estructura con que se presentan, quizá debería dedicarse más atención de la habitual a las secuencias educativas ofrecidas, a su justificación, a su análisis y a su revisión.

Ya Bruner (1969) destacaba la importancia que tiene para el aprendizaje la forma en que se organizan los contenidos y la secuencia de tratamiento ofrecida. Consideraba que el orden con el que se presentan los contenidos a los estudiantes influye en la dificultad que tendrán para dominarlos. Indicaba que la mejor propuesta no es aquella que reproduce fielmente la lógica de cada disciplina y llamaba la atención sobre la necesidad de considerar la naturaleza del contenido objeto de tratamiento, así como las características de los estudiantes a quienes vaya dirigida. Dicho en otros términos, una propuesta de secuenciación no es intrínsecamente buena, con independencia de que se dirija a alumnos de 12 años o estudiantes universitarios. La adecuada

para unos puede (suele) no serlo para los otros.

Habitualmente las decisiones sobre la secuencia y organización de los contenidos las adoptamos basándonos en nuestra experiencia y sentido común. Experiencia y sentido común son útiles pero deberíamos fundamentar más y mejor este tipo de decisiones (AAVV, 1997). En todo caso, no debemos olvidar que buena parte del conocimiento científico ha tenido que generarse contra “evidencias de sentido común” que parecían mostrar lo contrario. Duschl (1990) señala que “*El conocimiento científico se distingue del conocimiento de sentido común en primer lugar en que intenta comprender y explicar por qué ocurre algo de la forma en que lo hace y en segundo lugar, en que intenta entender cómo ocurre.*”

LAS TEORÍAS PUEDEN AYUDAR, INCLUSO, CUANDO SON MANIFIESTAMENTE ERRÓNEAS

Me gustaría finalizar mi intervención recuperando la idea inicial y querría hacerlo, una vez más, utilizando un ejemplo histórico. Durante la década de los cincuenta del pasado siglo la oceanografía adquiere un importante desarrollo. Se sabía muy poco acerca de lo que escondían los fondos oceánicos. El interés por conocerlos era extraordinario. La segunda guerra mundial había evidenciado la conveniencia de poseer mapas topográficos precisos de los fondos marinos. Las grandes empresas petrolíferas veían en los océanos sus mayores posibilidades de expansión. También había gran interés científico. De acuerdo con las teorías del momento, los océanos eran estructuras permanentes y, si esto era así, se habrían depositado sedimentos en ellos desde que la Tierra tuvo continentes y océanos. Deberían, por tanto, encontrarse enormes potencias de sedimentos dispuestos capa sobre capa en los que estaría escrita la historia de la Tierra.

La estupefacción que produjeron los datos que iban proporcionando los sondeos sólo se entiende si se contrasta lo que se esperaba encontrar con la escasez y la juventud de sedimentos hallados. Para explicar este conjunto de datos anómalos, Harry Hess propone en 1960 la teoría de la *extensión del fondo oceánico*. En ella integra de manera coherente la juventud de los fondos oceánicos, la escasez de sedimentos, la existencia de la dorsal, las fosas halladas junto a los arcos insulares y su importante vulcanismo. Relacionando, además, todo ello con las corrientes de convección de Holmes.

Se acababa de dar un paso definitivo para la superación de la teoría del geosinclinal (y otros residuos contraccionistas) y se empezaban a sentar las bases de la tectónica de placas. Quizá debamos preguntarnos si este paso habría sido posible sin que los investigadores hubiesen estado armados de una teoría que, finalmente, los datos mostraron como incorrecta.

De manera que *si quieres avanzar...*



BIBLIOGRAFÍA

AAVV (1997). La secuenciación de los contenidos en ciencias experimentales. *Alambique*, 14, pp. 1-126.

American Geophysical Union (1997). "Shaping the future of Undergraduate Earth Science Education, Innovation and Change Using an Earth System Approach". AGU. Washington, pp. 1-35.

Astolfi, J.P. (1993). Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos en Ciencias: la forma de franquearlos didácticamente. En *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias*. CIDE. Madrid, p. 289-306.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin, París (tr. cast. *La formación del espíritu científico*, 1983, Siglo XXI. México).

Brown, L.; Kelso, P.; Rexroad, C. (2001). Introductory geology for elementary education majors utilizing a constructivist approach. *Journal of Geoscience Education*, V. 49, 5, pp. 450-453.

Bruner, J. S. (1969). *Hacia una teoría de la instrucción*. Uteha. México.

Duschl, R. 1990. *Restructuring Science Education. The importance of Theories and Their Development* (trad. Cast. 1997, *Renovar la Enseñanza de las Ciencias*. Narcea. Madrid).

Duschl, R. (2001). Earth System Science: a better way to teach science enquiry. *Teaching Earth Sciences*. V. 26, 3, pp. 89-93.

García, J.E. (2001): La construcción de la noción de interacción. *Alambique*, n. 27, pp 92-106.

Gohau, G. (1987). *Histoire de la géologie*. La decouverte. París.

Gohau, G. (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écritains. *Aster*, 20, 21-42.

Hallam, A. (1983). *Great Geological Controversies*. Oxford University Press (trad., cast. 1985. *Grandes controversias geológicas*. Labor. Barcelona).

Jiménez Aleixandre, M.P.; Caamaño, A.; Oñorbe, A.; Pedrinaci, E. y de Pro, A. (2003). *Enseñar ciencias*. Graò. Barcelona.

Karmiloff-Smith, A. e Inhelder, B. (1981). Si quieres avanzar hazte con una teoría. *Infancia y Aprendizaje*, 13, pp. 69-88.

Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press (trad. Cast. 1971: *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica. Méjico).

Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge University Press (trad. Cast. 1983: *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza Universidad. Madrid).

Novak J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.

Novak, J. D. (1982). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza.

Pedrinaci, E. (1992). Las rocas tienen una historia que contamos. *Aula de Innovación Educativa*. nº 4-5, 33-36

Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Madrid: Síntesis.

Pedrinaci, E. (2002). Los conocimientos geológicos en la ESO: un análisis del nuevo currículo. *Alambique*, 33, pp. 49-58.

Pedrinaci, E. (2003). *La enseñanza y el aprendizaje de la geología*. (En Jiménez Aleixandre, M.P.(coord.) . *Enseñar ciencias*. Graò. Barcelona).

Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Vol. 2, 1, pp 240-251.

Popper, K.R. (1959): *The Logic of Science Discovery*. Hutchinson, London (trad. Cast. 1977: *La lógica de la investigación científica*, Tecnos. Madrid).

Porlán, R.; Rivero, A. y Martín, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 2, pp. 271-288.

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*, Vol. 8, 1, pp. 13-19.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata. Madrid.

Pozo, J.I.; Sanz, A.; Gómez Crespo, M.A. y Limón, M. 1991. Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la Psicología Cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94.

Ramón y Cajal, S. (1922). *Reglas y Consejos sobre investigación científica: los tónicos de la voluntad*. (Reimpresión 1998. Espasa. Madrid).

Sanmartí, N. (2002): *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria*. Síntesis. Madrid

Saunders, R. y Bingham-Newman, A.M. (1989). *Perspectivas piagetianas en la educación infantil*. Morata. Madrid.

Toulmin, S. (1972). *Human Understanding*. Clarendon Press, Oxford (trad. Cast. *La comprensión humana*. Alianza Universidad. Madrid).

Toulmin, S. y Goodfield, J.(1990). *El descubrimiento del tiempo*. Paidós. Barcelona.

Wilkinson, I. (2002). Geological Time in the Classroom. *Teaching Earth Sciences*, 27, 4, pp. 121-124. ■

