

10. La distancia, la accesibilidad y la centralidad influyen en la localización de las actividades económicas y en los usos del suelo.
11. El poblamiento y las actividades humanas se encuentran organizados jerárquicamente.
12. Los movimientos y las mallas de transporte contribuyen a organizar el espacio terrestre.
13. Las actividades humanas generan procesos de difusión espacial.
14. En la superficie terrestre existen áreas diferenciadas con algún grado de organización.
15. La superficie terrestre puede ser considerada a diversas escalas. Las escalas regional y local son particularmente significativas en el estudio geográfico.
16. El poder político y la organización estatal contribuyen de manera decisiva a la organización del espacio terrestre.
17. En la medida que la propiedad, y otros factores sociales y culturales, condicionan la organización y el uso del espacio, éste es también un producto social.
18. Las desigualdades entre los hombres generan competencias y conflictos por el uso del espacio y el aprovechamiento de los recursos.

ESQUEMA BASICO DEL "EART SYSTEMS EDUCATION" (Mayer, 1991)

Citado por F. Anguita (Enseñanza de las Ciencias, 12 (1), 15-21).

1. La Tierra es única, un planeta de rara belleza y gran valor.
2. Las actividades humanas, colectivas e individuales, consciente e inconscientemente, están alterando gravemente el planeta.
3. El desarrollo del pensamiento científico y la tecnología incrementan nuestra capacidad para comprender y utilizar la Tierra y el espacio.
4. El sistema Tierra está compuesto de los siguientes subsistemas que interaccionan entre sí: agua, tierra, hielo, aire y vida.
5. El planeta Tierra tiene una edad de 4.000 millones de años y sus subsistemas están evolucionando continuamente.
6. La Tierra es un pequeño subsistema de un sistema planetario, dentro de un universo vasto y antiguo.
7. Muchas personas siguen carreras relacionadas con el estudio del origen, procesos y evolución de la Tierra.

LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Emilio Pedrinaci (1)

RESUMEN

En este trabajo se aborda el interés didáctico que puede tener la utilización de la Historia de la Geología en las aulas de niveles no universitarios. La perspectiva desde la que se hace intenta responder a dos cuestiones: para qué puede ser útil su tratamiento y cómo puede llevarse a cabo.

ABSTRACT

The didactic relevance for teaching/learning Earth Sciences for no university stages using

the History of Geology is undertaken in the present work. The approach intend answer two main questions: for what purpose handling History of Geology for students can be profitable and how push ahead.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde que Bachelard (1938) resaltase la importancia del conocimiento de la Historia de la Ciencia y la Epistemología para la enseñanza de las ciencias, han sido muchos los autores que han destacado su interés. Así, Gagliardi y Gior-

(1) I.B. de Gines. Sevilla. Equipo Terra



dan (1986) o Pedrinaci (1993a) consideran que la Historia de la Ciencia puede ser un instrumento importante para detectar los obstáculos epistemológicos existentes en un determinado campo del saber y para orientar la estrategia que permita su superación.

Desde esta perspectiva tan importante es analizar los momentos de la Historia de la Ciencia en los que se producen grandes avances (en la medida en que permite ver qué nuevos conceptos, procedimientos o teorías se ponen en juego para facilitar el progreso), como estudiar aquellas largas etapas en las que ese avance parece muy dificultoso. Puede ocurrir que el estancamiento o incluso retroceso no sea casual sino que responda a la existencia de obstáculos, algunos de los cuales es posible que compartan nuestros alumnos (Pedrinaci 1993b).

En otras ocasiones se ha llamado la atención acerca del posible paralelismo entre las ideas de los alumnos y las teorías que han estado vigentes en algunos momentos de la Historia de la Ciencia (Saltiel y Viennot, 1985; o Wandersee 1986) destacándose la utilidad didáctica que puede obtenerse de ello.

Se ha subrayado igualmente el papel relevante que deben desempeñar la Epistemología y la Historia de la Geología en la selección del currículum de la Educación Secundaria (Sequeiros y Pedrinaci 1992) en la medida en que, no sólo ayudan a detectar los obstáculos epistemológicos y orientar su tratamiento, sino que además permiten valorar la potencialidad y funcionalidad de determinados conocimientos. Criterios éstos que resultan básicos para determinar el núcleo central de un determinado campo del saber.

Todo ello ha venido a destacar la importancia que debe tener, al menos en los niveles no universitarios en los que se centra este trabajo, el conocimiento de la Epistemología y la Historia de la Geología para la elaboración de cualquier propuesta de enseñanza de las Ciencias de la Tierra que pretenda estar fundamentada.

El presente trabajo focaliza, sin embargo, otro aspecto de la cuestión: la utilidad que puede tener para nuestros estudiantes el tratamiento en el aula de la Historia de la Geología o de algunos pasajes de ella.

2.- ¿TIENE SENTIDO UTILIZAR EN EL AULA LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA?

Señala Fillon (1991) la aparente contradicción existente entre el elevado número de profesores franceses que manifiestan su interés por la Historia de la Ciencia y la escasa presencia de ésta en las aulas. Entre los argumentos que ofrecen los profesores del país vecino para explicar esta posible contradicción destacan los siguientes:

- El temor a que los alumnos recuerden más los conceptos científicos antiguos ("erróneos") que los actualmente vigentes.

- Las dificultades de reproducir el largo, lento y complejo proceso por el que se han ido generando y cambiando las teorías.

- El convencimiento de que el tiempo de enseñanza científica disponible es mucho más útil si se dedica a mostrar de una manera rigurosa y clara los conocimientos actuales que si se utiliza el tortuoso camino histórico.

Como suele ocurrir, en estas objeciones subyace una determinada concepción de la ciencia, de su enseñanza y su aprendizaje, pero también una forma de entender la Historia de la Ciencia. Así, tras la primera objeción probablemente se esconde una distinción, no exenta de dogmatismo, entre concepciones antiguas que serían erróneas y teorías actuales que serían verdaderas. Desde esta perspectiva la historia del conocimiento consistiría en una sucesión de errores hasta que se consigue "encontrar" la respuesta correcta. Porlán (1989), en su estudio sobre el pensamiento del profesor, destaca la frecuencia con que aparece lo que él denomina "realismo ingenuo" caracterizado por "creer que las teorías científicas proporcionan una descripción verdadera del mundo".

Tras la segunda y la tercera objeción se encuentra la idea de que si se opta por hacer un tratamiento histórico la propuesta deberá reconstruir, aunque sea de manera sintética, el proceso seguido a lo largo de la historia del pensamiento. Como veremos una recapitulación de ese tipo es sólo una de las diversas posibilidades con que contamos y, por tanto, nuestra aprobación o rechazo no puede condicionarse a ella.

Bien por las razones que expone Fillon u otras (entre las que probablemente no sea la menos importante la escasísima presencia de la Historia de la Ciencia en las facultades de ciencias y en los programas de formación del profesorado), la Historia de la Ciencia ha permanecido generalmente alejada de las aulas. Su presencia, casi siempre esporádica, se ha vinculado al tratamiento de lo que podríamos llamar "biografías ejemplares" que con la intención de desarrollar en los estudiantes valores como la constancia, la creatividad o la abnegación, ha contribuido a idealizar más la imagen de la ciencia y de los científicos, envolviéndolos en un halo mágico y distante.

El problema parece estar bastante generalizado. Así, Hodson (1988) al analizar las principales reformas del currículum de ciencias llevadas a cabo en el mundo anglosajón en las últimas décadas, indica que algunos de los objetivos en los que el fracaso es más notorio están relacionados con la visión que poseen los estudiantes sobre las ciencias. Como causas de dicho fracaso destaca dos:

- La visión inadecuada que tienen los propios profesores sobre la naturaleza de la Ciencia.
- La confusión (contradicción o desfase) existente en la Filosofía de la Ciencia que subyace en muchos de esos currícula.

Aunque son frecuentes los planteamientos



que defienden la conveniencia de que los currículos de enseñanza secundaria incorporen entre sus contenidos aspectos relevantes de la Historia de la Ciencia, la propuesta que aquí realizamos no pretende engordar más el ya saturado currículum, sino analizar su utilidad y valorar las aportaciones que puede hacer. Lo que sugerimos, por tanto, no es que se estudie en el bachillerato Historia de la Geología sino que consideremos la posibilidad de utilizarla como una herramienta para el aprendizaje de esta ciencia, en la medida en que puede ayudar a que los estudiantes:

- Se formen una idea más ajustada de la Ciencia y de los científicos.
- Establezcan algunas relaciones entre Ciencia y Sociedad.
- Entiendan cómo se construye la Ciencia.
- Comprendan conceptos científicos complejos y valoren su significado y utilidad.

Se trata de aspectos estrechamente relacionados que pasamos a revisar a continuación.

2.1. LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA AYUDA A CONSTRUIR UNA IMAGEN MÁS AJUSTADA DE LA CIENCIA Y DE LOS CIENTÍFICOS

En muchos libros de texto se proyecta una imagen distorsionada de la Ciencia y de los científicos (Giordan y Vecchi 1987, Otero 1989). La Ciencia es vista con frecuencia como un conjunto de verdades definitivas y neutrales y los científicos, en palabras de Hodson (1986) "como objetivos, sin sesgos y poseedores de un método todopoderoso e infalible para determinar la verdad sobre el universo. Estos mitos sobre la Ciencia y los científicos son interiorizados por los profesores durante su formación científica y, por ello, les son presentados a los niños en el currículum".

Dado que los contenidos históricos se encuentran generalmente ausentes de estos libros, debemos interpretar, de una parte, que estas ideas acerca de la Ciencia y los científicos subyacen en el tratamiento que se le da a la materia, en el enfoque cerrado y acabado con que se aborda, en la ocultación de las incertidumbres e interrogantes que existieron en el pasado o de los que se presentan hoy y, de otra, que un tratamiento histórico puede contribuir a cambiar dichas ideas.

No obstante conviene tener en cuenta que no todos los enfoques que incorporan la Historia de la Ciencia ayudan en este sentido. Así Lacombe (1987) destaca que, entre el profesorado que se decide a introducir en el currículum alguna valoración histórica, existe frecuentemente la tendencia a la hagiografía, a la presentación de una galería de sabios geniales "benefactores de la humanidad", o profetas visionarios, sin precursores ni errores en sus experiencias y "que, Dios sabe por qué, deciden un día hacer la experiencia que llevará su nombre".

En el trabajo citado propone Lacombe una especie de tratamiento de choque: el análisis de algunos fraudes científicos. Tratamiento que ha realizado con alumnos de secundaria y al que le atribuye, entre otros los siguientes valores:

- Los alumnos entran con placer, aunque por la puerta de atrás, en un dominio sacrosanto.
- Humaniza a los científicos y muestra que están dispuestos incluso a falsear las observaciones o experiencias para demostrar que tienen razón.
- Revisa el estatuto de la experiencia "crucial". De ciertos fraudes no son sus autores enteramente conscientes y, con frecuencia, lo que hacen es describir que ven aquello que quieren ver.
- Subraya la importancia y los límites de la duda.

Quizá no sea necesario llegar a tanto para humanizar la Ciencia y los científicos. Nuestra sugerencia no es sembrar de dudas la supuesta objetividad de la Ciencia, ni enfatizar su componente subjetiva sino, más bien, evidenciar la relatividad de las teorías, su carácter aproximativo y transitorio y dotar al alumno de un sano escepticismo.

Son especialmente elocuentes en este sentido las palabras de Toulmin (1972) defendiendo la necesidad de plantear, además de la ciencia entendida como una población cambiante de conceptos asociados en teorías más o menos formalmente estructuradas, "*una ciencia cultural (...) entendida como una población cambiante de científicos, vinculados en instituciones más o menos formalmente organizadas. Pues la vida de la Ciencia se encarna en las vidas de esos hombres, que intercambian información, arguyen y presentan resultados mediante una variedad de publicaciones y reuniones, compiten por cátedras y presidencias de academias, y tratan de sobresalir a la par que anhelan conquistar su mutua estima*".

En la Historia de la Geología disponemos de muchos ejemplos que pueden ayudar a formar, como indica Toulmin, una idea más humanizada de la Ciencia y los científicos. Así, Rudwick en el sugerente prólogo de una edición reciente (1990) de los *Principles of Geology* de Lyell relata cómo el "padre oficial" de la Geología, utilizando un estilo más propio de su profesión de abogado que del rigor que se espera en un científico, hace una descripción desoladora de la Geología de su tiempo. Con ello genera un vacío a su alrededor que le permite vestir como originales ideas que estaban lejos de serlo, consiguiendo con notable éxito que destaquen más sus aportaciones. Algo parecido, aunque en menor medida, hizo Wegener. En efecto, como señala Anguita (1983) en sus primeros artículos relacionados con la deriva de los continentes, el meteorólogo alemán reconoce la influencia que le produjeron las ideas de Taylor, pero posteriormente pareció olvidársele, llegando a afirmar que la teoría se le ocurrió observando un mapamundi.



El largo debate mantenido sobre la edad de la Tierra ofrece muchos e interesantes ejemplos. Veamos uno de ellos: Kelvin (1824-1907), físico de gran prestigio, había mostrado su oposición a las tesis uniformitaristas de Lyell y a la disponibilidad indefinida de tiempo en que se basaban. Estaba convencido de que la relación existente entre la temperatura del Planeta y su edad podría ofrecer bases sólidas para conocer la antigüedad de la Tierra y poder así desautorizar las ideas de Lyell. Parece que su interés por esta cuestión se incrementó como consecuencia de la datación que Darwin incluyó en *El origen de las especies*.

Para sus cálculos Kelvin partió de la hipótesis de una Tierra originariamente fundida como consecuencia de los impactos de meteoritos y cuantificó el tiempo que tardaría en alcanzar la temperatura actual (la idea no era nueva, la habían expuesto Descartes y Leibnitz, incluso Buffon la había utilizado ya para hacer algunos cálculos empíricos). Su primera publicación al respecto fue muy abierta (la edad sería inferior a 400 millones de años y superior a 20) pronto fue afinando las cifras dejándolas en 98 millones de años. A medida que se acentuaban sus debates con los geólogos uniformitaristas y biólogos evolucionistas su posición fue haciéndose más dogmática al tiempo que rebajaba progresivamente la edad de la Tierra, que ya para 1897 la cifraba en 25 millones de años.

Kelvin murió sin reconocer que el descubrimiento de la radiactividad invalidaba sus cálculos. Hallam (1983) recoge un precioso relato de Rutherford sobre la conferencia que pronunció en 1904 en la Royal Institución de Londres:

“Entré en la sala, que estaba en penumbra y entre los asistentes descubrí enseguida a Lord Kelvin, y me di cuenta de que me esperaban problemas al final de la conferencia, en la que debía hablar de la edad de la Tierra, tema en el que mis puntos de vista estaban en contradicción con los suyos. Me quedé tranquilo porque Kelvin estaba profundamente dormido, pero cuando llegué al punto importante vi que el personaje se enderezaba, abrió un ojo ¡y me lanzaba una siniestra mirada! Entonces me vino una inspiración repentina y dije que Lord Kelvin había puesto un límite a la edad de la Tierra, siempre que no se descubriera otra fuente de calor. Esta declaración profética se refiere al hecho del que estamos hablando esta tarde, el radio. El anciano me miró radiante”.

2.2. LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA AYUDA A EVIDENCIAR LAS RELACIONES CIENCIA-SOCIEDAD

Es éste un aspecto estrechamente relacionado con el anterior, dado que una visión de la Ciencia y de los científicos más contextualizada no sólo favorece su desmitificación sino que permite poner de manifiesto las relaciones Ciencia-Sociedad, los prejuicios, las limitaciones conceptuales, técnicas o me-

todológicas y la fuerte carga ideológica que frecuentemente condicionan las formulaciones científicas.

Los estudios de casos constituyen una buena herramienta para evidenciar la influencia que la estructura sociocultural ejerce sobre las producciones científicas. El origen y la evolución, o más bien permanencia, de la llamada “cronología corta” o “cronología bíblica” ofrece un ejemplo difícilmente superable de la influencia sociocultural en las producciones científicas. La idea de una Tierra de 6.000 años de antigüedad es probablemente el conocimiento geológico que ha permanecido estable durante un período de tiempo más largo (desde el siglo IV hasta el XVIII). Aunque sólo fuese por esto merecería que se le prestase atención, pero es que además es una de las ideas que ha ejercido mayor influencia en las teorías de la Tierra y por ende en las más variadas nociones geológicas.

La cronología corta hunde sus raíces en la cultura judeo-cristiana. En efecto, Aristóteles participaba de una visión del mundo sin un origen temporal en el pasado ni perspectiva de fin en el futuro, se trataba de un mundo eterno y cíclico y en esa medida ahistórico. El cristianismo rompe con la idea cíclica del tiempo, sustituyéndola por la concepción lineal judaica. Para los hebreos el tiempo seguía un proceso lineal unidireccional, extendiéndose desde el acto divino de la creación, hasta el triunfo final y la salvación del pueblo de Israel. Los primeros cristianos, partiendo de la consideración de que la crucifixión era un acontecimiento único, no sujeto a repetición, llegaron a la conclusión de que el tiempo debía ser lineal y no cíclico.

Se trata pues de un cambio de perspectiva que participa de una visión más histórica que la clásica. El cristianismo introduce también otro efecto interesante: hace aumentar considerablemente, en relación al mundo clásico, el interés por la formación (creación) de la Tierra. Pero junto a ello, la adopción del Génesis como referencia inexcusable impone fuertes limitaciones a cualquier intento de explicación racional de dicho proceso de formación.

Como indican Toulmin y Goodfield (1965) para finales del siglo IV se habían sentado ya las bases de la concepción cristiana de la historia del mundo y su cronología, que va a ser en general asumida durante catorce siglos por los filósofos y hombres de Ciencia (Steno y Newton entre otros). Su influencia social se prolongará bastante más, baste para ello observar la fig. 1 que muestra un catecismo de principios del presente siglo (agradezco mucho a Leonor Carrillo que me lo haya suministrado) “corregido por la Inspección General de Instrucción Pública” en la que se fija la creación del mundo en el año 4004 a. C.

Hemos señalado en otro lugar (Pedrinaci 1993b) la existencia de ciertos obstáculos epistemológicos que es necesario considerar para poder justificar la extraordinaria estabilidad de la cronología corta, sin embargo aquí se pretende subrayar otra perspectiva: la enorme influencia (no



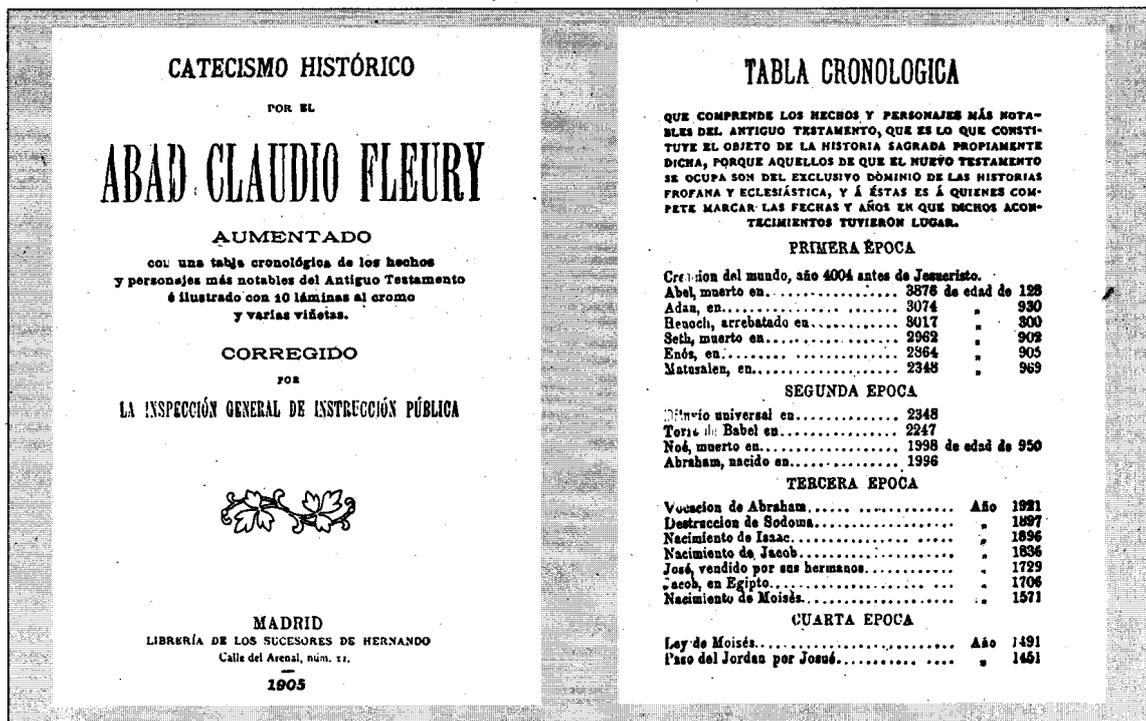


Figura 1

siempre represiva) de la Iglesia en el pensamiento científico.

Contamos igualmente con buenos ejemplos del relevante papel jugado por los intereses económicos en el desarrollo de las Ciencias de la Tierra. Así, resultaría difícil entender el desarrollo de la Geología en los últimos 60 años sin considerar la influencia ejercida por los intereses petrolíferos. El impulso que éstos imprimieron al estudio de los fondos oceánicos ha sido tal que sin ese conocimiento probablemente la tectónica de placas no habría sido formulada o puede que tuviera una formulación no muy diferente de la realizada por Wegener.

2.3. LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA AYUDA A COMPRENDER CÓMO SE CONSTRUYE LA CIENCIA

Este apartado, aunque ofrece rasgos propios, viene a ser una síntesis/conclusión de los dos anteriores dado que una visión de la Ciencia y los científicos humanizada y menos dogmática, en la que se muestren las relaciones Ciencia-Sociedad, debe ayudar a entender cómo se construye el saber.

Muchos estudiantes y, según Porlán (1993), no pocos profesores tienen una visión del desarrollo científico como el resultado de una acumulación progresiva de conocimientos. Desde esta perspectiva se considera, como lo hacía Descartes y en cierta medida el mismo Newton, que el concepto "leyes de la naturaleza" no es metafórico, sino que tales leyes existen en la realidad y que la labor del científico es descubrirlas o, más propiamente, "encontrarlas". Una vez descubiertas esas leyes tendrían validez absoluta. La tarea

posterior del científico no sería cuestionarlas, verificar sus límites o intentar formulaciones superradoras, sino encontrar las leyes de la naturaleza que aún no han sido descubiertas. Desde esta posición la Historia de la Ciencias, como la del conocimiento del alumno en la escuela, seguiría un proceso acumulativo lineal, sin revoluciones o reestructuraciones más o menos generales.

Por ello, si bien estamos defendiendo la utilidad de trabajar con nuestros alumnos aspectos de la Historia de la Geología, no conviene deducir que cualquier tipo de tratamiento puede servir. En efecto, a veces se entiende la Historia de la Ciencia como una exposición cronológica de los principales logros que han ido acumulándose a lo largo del tiempo. Un enfoque de esas características vendría a reforzar la imagen lineal y acumulativa a que hemos hecho referencia.

Queremos destacar el valor didáctico del estudio de algunos de los grandes debates científicos que se han mantenido históricamente en relación con los más variados conceptos y teorías geológicas. Entre ellos cabe destacar por su relevancia, por su vigencia y por la amplia documentación de la que se dispone el largísimo debate entre el catastrofismo y el uniformitarismo (Hallam 1983, Pedrinaci 1992) y entre el fijismo y el movilismo (Anguita 1982 y 1983, Hallam 1973 y 1983). Se favorece así lo que constituye un gran descubrimiento para los alumnos: no todos los científicos de una determinada época han tenido, ni tienen, las mismas ideas sobre un determinado campo del conocimiento.

De esta manera la Historia de la Geología puede ayudar a mostrar cómo surgen las teorías,



cómo la comunidad científica ofrece resistencia a desprenderse del paradigma vigente hasta ese momento, cómo tienen un período de aceptación más o menos largo y cómo, finalmente, son superadas por otras ideas con mayor poder explicativo. Ello facilita la relativización del conocimiento científico y es probablemente el mejor antídoto contra una visión dogmática del saber que cree en verdades definitivas.

2.4. LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA AYUDA A QUE LOS ALUMNOS COMPRENDAN CONCEPTOS CIENTÍFICOS COMPLEJOS, SU SIGNIFICADO Y UTILIDAD

Hasta aquí se ha destacado el papel relevante que puede desempeñar el tratamiento de la Historia de la Geología para que los alumnos se formen una idea más adecuada de lo que es la Ciencia y del proceso de construcción que sigue así como del papel que desempeñan en ello los científicos, sus características e intereses personales y la sociedad. Con ser importante todo ello, tanto que justifica sobradamente que se considere la conveniencia de su uso en el aula, no es la única aportación que puede hacer.

En efecto, la Historia de la Geología puede ser una herramienta interesante para favorecer el aprendizaje de los más variados conocimientos. Con frecuencia mostramos a nuestros alumnos las teorías o los conceptos de una manera acabada y descontextualizada, es decir, sin considerar los problemas a los que pretendían responder cuando se generaron. No es extraño que en estas condiciones les resulte muy difícil entender cuál es el sentido y la utilidad que pueden tener y eso es básico para otorgarle significado al conocimiento.

Hodson (1986) plantea la necesidad de considerar la funcionalidad del conocimiento como uno de los criterios para la determinación de los contenidos que deben trabajarse en la formación científica: "En la enseñanza de la Ciencia, el grado de sofisticación teórica en cualquier etapa debería ser determinado por la capacidad de la teoría para explicar los fenómenos que encontrarán los alumnos. No necesita ir más allá". Hodson confiesa que le resulta tentador sugerir que en ausencia de fenómenos para ser explicados, no hay necesidad de teoría. De esta manera las teorías podrían seguir un proceso de complejización y desarrollo a lo largo de la educación científica del niño que "quizás siga unas líneas similares a las de su desarrollo histórico".

En concordancia con lo que nos sugiere Hodson, el tratamiento de casos históricos favorece la utilización de formulaciones teóricas o procedimentales intermedias entre las ideas que los alumnos de un determinado nivel poseen en ese momento y las defendidas actualmente por la Ciencia. Son planteamientos que generalmente exigen para su tratamiento un aparato conceptual menos complejo y ponen en juego ideas e interrogantes que, al estar más próximas a las con-

cepciones de los alumnos, facilitan el establecimiento de relaciones significativas.

Para seleccionar los casos históricos que abordaremos conviene que valoremos previamente el tipo de documentación de la que se dispone, si puede resultar significativa o no para nuestros estudiantes, los conceptos, actitudes, procedimientos y teorías que se van a poner en juego y, en consecuencia, si servirá para los objetivos que pretendemos. Como se ha indicado anteriormente disponemos de algunos casos históricos bien documentados y que ofrecen una amplia gama de posibilidades educativas. Así, el análisis de la propuesta de Wegener acerca del origen de los continentes y los océanos y las vicisitudes seguidas hasta la formulación de la teoría de la tectónica de placas permite, entre otras cosas:

- Mostrar que nunca hay un único descubridor que, como señalan Giordan y Vecchi (1987) las preguntas del tipo ¿quién descubrió...? son como mínimo simplistas, propias de un concurso televisivo pero que guardan poca relación con el desarrollo de la Ciencia. Así, podemos ver los muchos precursores de las ideas de Wegener: desde el remoto Bacon, con sólo dudosas conexiones con las propuestas de nuestro autor, hasta el próximo Taylor, con coincidencias bastantes mayores, pasando por Giordano Bruno o Snider. Y qué decir de las múltiples aportaciones que permitieron el desarrollo posterior de la teoría de Wegener.

- Mostrar la visión inductivista, dogmática y acrítica que con cierta frecuencia mantienen los científicos (y no sólo los alumnos o algunos profesores). Hallam (1983) hace la reseña de una carta de Wegener a su suegro (también meteorólogo) en la que critica la posición de algunos científicos. La cita no tiene desperdicio:

" ¡La carta del profesor P. es típica! No acepta que se le enseñe. Esta gente que insiste en basarse solamente en los hechos y no quieren saber nada de las hipótesis, ¡están utilizando ellos mismos una falsa hipótesis sin darse cuenta ...! En su carta no hay nada que denote un esfuerzo para llegar al fondo de las cosas, sino únicamente el placer de exponer las limitaciones de otras personas. Gentes como éstas no tienen nada que ver con la reorientación de las ideas. Si hubieran aprendido en la escuela la teoría de las traslaciones, la defenderían acriticamente, con la misma falta de comprensión con que hoy defienden el hundimiento de los continentes en los océanos ... "

- Mostrar la dificultad de cambiar el paradigma (en el sentido kuhniano) asumido en un determinado momento por la comunidad científica o de introducir elementos que contradigan aspectos básicos de ese paradigma. Así, Anguita (1982) destaca que las tesis de Wegener chocaban con dos perspectivas asumidas por la ortodoxia científica del momento: de una parte el ciclo huttoniano, rítmico, sin huellas de un comienzo ni perspectiva de fin, se oponía a la existencia de un acontecimiento histórico único como la ruptura



de Pangea; de otra el uniformitarismo más dogmático no podía aceptar un modelo como el propuesto por Wegener que por ello fue asociado a posiciones catastrofistas (en un momento que el catastrofismo era considerado no sólo una teoría desfasada sino precientífica).

- Mostrar la existencia de obstáculos epistemológicos (por ejemplo el fijismo) que bloquean esos cambios de paradigma y que dificultan el avance. Así, en la recensión que hace Lake (citado por Hallam 1983) de la tercera edición de la obra de Wegener dice: *"Al examinar ideas tan nuevas como las de Wegener no es fácil olvidar los prejuicios. Un continente que se mueva es, para nosotros, tan extraño como lo fue para nuestros antepasados una Tierra que se movía, y podemos tener tantos prejuicios como ellos."*

- Mostrar que la Ciencia no siempre crece por acumulación lenta y progresiva de conocimientos, sino que a veces se producen reestructuraciones globales o revoluciones científicas (Kuhn, 1962) que introducen profundas modificaciones en conceptos considerados básicos e intocables hasta ese momento. Si, como indican Sequeiros (1981) o Anguita (1983), el moviismo es la única revolución científica que se ha producido desde que Kuhn publicó su teoría de cómo se destruye la Ciencia, no parece razonable que desaprovechemos tal circunstancia.

- Mostrar que las razones por las que se rechaza una teoría pueden ser muy variadas y que no siempre vienen determinadas por la estructura interna o la lógica propia de la Ciencia, sino que con ellas se mezclan con frecuencia razones externas, que aparecen implícitas y que estarían más relacionadas con prejuicios sociales o celos profesionales. Son las relaciones Ciencia-Sociedad a las que hemos aludido con anterioridad. Así, Anguita (1982 y 1983) y Hallam (1973 y 1983) entre otros, han destacado que en Wegener se daban dos circunstancias que contribuyeron al rechazo de sus tesis: era alemán, en unos momentos en que ésto no podía considerarse la mejor tarjeta de visita, y era meteorólogo, por tanto intruso, lo que le otorgaba a su ya atrevida teoría un carácter de osadía difícilmente soportable.

Junto a todo ello el tratamiento histórico ayuda a ir abordando progresivamente ideas como la división de los continentes, la formación de los océanos, el origen de las cordilleras, de los volcanes, de los terremotos, etc. y hacerlo comprobando las dificultades que ofrece dar una respuesta satisfactoria, analizando los argumentos en que se apoyan así como los contraargumentos que han tenido que superar, sus virtualidades y sus limitaciones, etc. Todo esto no sólo gradúa la dificultad sino que además facilita que afloren concepciones que poseen los estudiantes y que, de otra forma, quedarían inalteradas permitiendo que acepten de manera superficial y rápida (demasiado rápida, Astolfi 1993) ideas que cohabitan con concepciones alternativas antagónicas.

3.- CÓMO PUEDE UTILIZARSE EN EL AULA LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA

Se ha insistido más en el "para qué" que en el "cómo" del uso de la historia de la Geología porque pensamos que sólo si se está convencido de la utilidad del tratamiento histórico tiene sentido plantearse cómo hacerlo.

Jiménez Aleixandre y Fernández (1987) proponen tres formas de usar la Historia de las Ciencias en la enseñanza de las Ciencias:

- Como hilo conductor de una unidad didáctica en la que se siga el desarrollo histórico del conocimiento.

- Como introducción de la unidad didáctica, que ayuda a contextualizar el conocimiento y conocer algunos elementos de su desarrollo histórico.

- Como presentación de investigaciones o descubrimientos relevantes mediante el uso de textos originales.

El trabajo que hemos esbozado acerca de la propuesta de Wegener y el desarrollo de la tectónica de placas entraría dentro del primer uso. Anguita (1988) utiliza con frecuencia el desarrollo histórico de un concepto, grupo de conceptos o teorías, a modo de introducción, para facilitar la comprensión de las propuestas actuales de la Geología o para plantear alguna controversia del pasado o actual que de una visión más viva de la Ciencia. En cuanto al tratamiento de textos es quizá la modalidad de la que hay más ejemplos, puede verse al respecto el trabajo citado de Jiménez Aleixandre y Fernández.

Esta clasificación está hecha desde la perspectiva del grado de protagonismo que puede jugar la Historia de la Ciencia al elaborar una unidad didáctica así como su ubicación en ella. Aquí queremos subrayar, sin embargo, más la perspectiva metodológica, por ello sugerimos el uso de la Historia de la Geología como fuente para el planteamiento de problemas. Independientemente de que éstos se trabajen al comienzo de la unidad y a modo de introducción, se planteen en torno a un texto histórico o se haga una formulación progresiva y concatenada de problemas que actúen como hilo conductor de la unidad.

Señala Caballer (1993) que la actividad de resolución de problemas permite poner en juego una amplia gama de capacidades intelectuales como las de inferencia, relación, creatividad, etc. facilitando la realización de tareas tan importantes para el aprendizaje como: la comunicación de las ideas espontáneas, la formulación de hipótesis, el análisis de las variables que intervienen, el diseño de la investigación, la búsqueda de información, la presentación de resultados, etc.

Los problemas históricos o relacionados con la Historia de la Geología permiten trabajar, como cualquiera otros, todas esas capacidades pero además hace algunas contribuciones específicas. En efecto, si como señalan Giordan y Vecchi (1987) las teorías científicas han surgido siempre



como respuestas no arbitrarias a problemas formulados, un planteamiento como éste ayudará a conocer cómo se construye la Ciencia y a evitar que se genere la idea, comentada con anterioridad, de unos científicos que "Dios sabe por qué deciden un día realizar la experiencia que llevará su nombre".

Una cuestión histórica y geológicamente muy interesante es, por ejemplo, el cálculo de la edad de la Tierra y puede plantearse a alumnos del 16-18 en términos similares a la formulación que se hacía a mediados del siglo pasado. Conviene que inicialmente se plantee como problema abierto que ayude a valorar su complejidad, invite a una amplia reflexión y estimule la imaginación.

Posteriormente pueden abordarse algunos cálculos históricos como los realizados por Darwin o por John Phillips. Incluso, más allá de las propuestas de Darwin o de Phillips, los cálculos de la edad de la Tierra son un excelente ejemplo de la dependencia que las mediciones, y los procedimientos de investigación en general, tienen con respecto a las teorías que los sustentan (Pedrinaci y Berjillos, 1994). Así puede mostrarse desde la ausencia de cálculos (para aquellos, como Hutton, que poseen una perspectiva cíclica de la historia de la Tierra) pasando por otros basados en el estudio de la Biblia o la tradición oral, hasta aquellos que utilizaron la concentración de sales en el agua de los océanos.

En síntesis, el tratamiento de problemas históricos como éstos y de las diversas interpretaciones que se realizaron a partir de una misma observación o experiencia, ayuda a comprender la importancia que tiene el marco de referencia para ofrecer una explicación de lo que ocurre a nuestro alrededor. Ayuda a valorar la teoría, su potencialidad explicativa y sus limitaciones, a entender por qué se obtienen unos resultados que no responden a las ideas que tenemos hoy y nos muestra hasta qué punto una representación previa llega en ocasiones a constituir un obstáculo determinante.

BIBLIOGRAFÍA

- Anguita, F.F. (1982). Una comparación entre Charles Darwin y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías. *II Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, Gijón, p. 274-287.
- Anguita, F. (1983). *Epílogo: La teoría de Alfred Wegener y la nueva Geología*. En Wegener, A. El Origen de los continentes y océanos. Pirámide: Madrid.
- Anguita, F. (1988). *Origen e Historia de la Tierra*. Rueda: Madrid.
- 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.
- Caballer, M.J. (1993). *Planteamiento de problemas como estrategia de aprendizaje en la enseñanza de la Geología*. En Aldaba, Sanmarti, Caballer, Pedrinaci, Martínez y Sánchez, Aspectos didácticos de Ciencias Naturales (Geología). Educación Abierta. IDE de Universidad de Zaragoza, pp 77-110.
- Fillon, P., 1991. Histoire des Sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, nº 12, p. 91- 120.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 4, nº 2, 253-258.
- Giordan, A. y Vecchi, G. (1987). *Les origenes du savoir*. Delachaux- Niestlé. Neuchâtel (trad. Martínez, A. *Los orígenes del saber*, 1988, Diada: Sevilla).
- Hallam, A. 1973. *A revolution in the Earth Sciences. From Continental Drift to Plate Tectonics*. Oxford University Press (trad. cast. Peralta, C. 1976. *De la Deriva de los continentes a la Tectónicas de Placas*, Labor: Barcelona).
- Hallam, A. (1983). *Great Geological Controversies* (Oxford University Press): (Trad. J.M. Fontboté, *Grandes controversias geológicas*, Labor: Barcelona).
- Hodson, D. (1986). Philosophy of Science and Science Education. *Journal of Philosophy of Education*, v. 20, 2.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid Science Curriculum. *Science Education*, v. 72, p. 19-40.
- Jiménez Aleixandre, M.P. y Fernández J. (1987). *El "desconocido" artículo de Mendel y su empleo en el aula. Enseñanzas de las Ciencias*, v. 5, pp. 239-246.
- Kuhn, T. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press. (trad. cast. Contin, A. 1975. *La estructura de las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica: México).
- Lacombe, G., (1987). Pour L'Introduction de L'Histoire des Sciences dans l'enseignement du second cycle. *Aster*, nº 5. p. 87- 115.
- Otero, J., (1989). La producción y la comprensión de la Ciencia: la elaboración en el aprendizaje la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, nº 3, 223-228.
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 10, (2), 216-222.
- Pedrinaci, E. (1993)a. *Utilidad didáctica de la Historia de la Geología*. En Aldaba, Sanmarti, Caballer, Pedrinaci, Martínez y Sánchez, Aspectos didácticos de Ciencias Naturales (Geología). Educación Abierta. IDE de Universidad de Zaragoza, pp 111-146.
- Pedrinaci, E. (1993)b. La construcción histórica del concepto de Tiempo Geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, nº 3, 315-323.
- 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*, v. 2, nº 1.
- Porlan, R., (1989). *Teoría del conocimiento, Teoría de la Enseñanza y Desarrollo Profesional*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla
- Rudwick, M. (1990). *Principles of Geology: Introduction* (p. vii- lviii). En Lyell C. *Principles of Geology*. University of Chicago Press: Chicago.
- Saltiel, E. y Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 3, 137-144.
- Sequeiros, L. 1981. El método de los paradigmas de Kuhn interpela a las Ciencias Geológicas: notas para una Geología sin dogmas. *I Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología*, Madrid, p. 437-444.
- Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1992). Una propuesta de contenidos de Geología para la E.S.O. *III Congreso Geológico de España*. Salamanca, v. 1, 471-480.
- Toulmin, S. 1972. *Human Understanding*. Princeton University Press (trad. cast. Míguez, N. 1977. *La comprensión humana*, Alianza: Madrid).
- Toulmin, S. y Goodfield, J. 1965. *The Discovery of Time*. Hutchinson and Co. London. (trad. Míguez, N. *El descubrimiento del tiempo*. 1990. Paidós: Barcelona).
- Wandersee, J. H., (1986). Can the History of Science help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 23, p. 581-597.
- Wegener, A. *Die entstehung der kontinente und ozeane*. (trad. cast. Anguita, F. y Herguera, J.C. (1983). *El Origen de los continentes y océanos*. Pirámide: Madrid).

