

DARWIN COMO GEÓLOGO: SUGERENCIAS PARA LA ENSEÑANZA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Darwin Geologist: suggestions for Earth Sciences Teaching.

Leandro Sequeiros (*)

RESUMEN:

La figura de Charles Robert Darwin (1809-1882) se asocia siempre con El Origen de las Especies por la Selección Natural. Pero Darwin empezó sus observaciones por la geología. Es más: la geología suministró a Darwin la herramienta metodológica que le permitió acceder a los conceptos complejos relacionados con la Evolución. Cómo Darwin construye históricamente sus concepciones geológicas (desde el catastrofismo ingenuo defendido por su maestro Henslow hasta los Principios de Lyell), se propone aquí como un paradigma didáctico en el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra.

ABSTRACT:

The figure of Charles Robert Darwin (1809-1882) is always associated with The Origin of Species by means of the Natural Selection. But Darwin begun by geological observations. Further more: geology supply Darwin a methodological tool allowing him agree to complex concepts related with Biological Evolution. How the geological conceptions show historically builded by Darwin (from the ingenuous catastrophism defended by his teacher Henslow till the Charles Lyell's Principles), is proposed here as a didactic paradigm in the Earth Sciences teaching.

Palabras clave: Darwin, Enseñanza de la Geología, Historia, Epistemología, Educación Secundaria.

Keywords: Darwin, Geology Teaching, History, Epistemology, Secondary School.

INTRODUCCIÓN

Se suele identificar a Charles Robert Darwin (1809-1882) con la evolución, fruto de su fecunda obra científica referida a aspectos biológicos (Bowler, 1985, 1995; Moorehead, 1980; Ruse, 1989; Milner, 1995). Las ideas darwinistas del Origen de las Especies (Darwin, 1859) parecen ser para muchos la única contribución de Darwin a las Ciencias de la Naturaleza. Sin embargo, Darwin fue también -y casi podríamos decir primeramente en el tiempo - un fecundo geólogo a través de cuyas hipótesis basadas en Lyell logró llegar a construir el paradigma de la Evolución por Selección Natural (Bowler, 1995). Es más: desde la niñez, cuando era colector de piedras y fósiles, hasta la madurez, el pensamiento geológico de Darwin fue madurando progresivamente. Seguir ese itinerario intelectual puede ser un fecundo hilo conductor para descubrir el proceso de construcción de los conceptos geológicos, los obstáculos para comprender y las estrategias de superación de los mismos. Desde un punto de vista didáctico, la figura de Darwin no sólo se presta a leer y debatir en el aula sus textos (Marco Stifel, 1992) sino que para el profesor puede ser una herramienta útil para seleccionar y secuenciar

unos conceptos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Se pretende en este trabajo abundar en la figura de Darwin como geólogo, su itinerario intelectual y científico como un paradigma de proceso de construcción de conocimientos en Ciencias de la Tierra.

Se parte en este trabajo de la hipótesis de Bachelard (1938) que considera que "cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la Ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos. (...) Es ahí donde mostraremos causas de estancamiento y hasta de retroceso, es ahí donde discerniremos causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos". Esta hipótesis, que constituye uno de los fundamentos de las investigaciones del Equipo "Terra", ha sido desarrollada posteriormente por Saltiel y Viennot (1985). Para éstos, la epistemología y la historia de las ciencias pueden aportar informaciones relevantes sobre el problema de la construcción del conocimiento científico en los alumnos cuando son capaces de recorrer de un modo analógico el mismo camino de búsqueda, planteamiento de problemas, emisión de hipótesis, conflicto cognitivo y superación de las ideas no adecuadamente científicas.

(*) Equipo "Terra". Centro de Enseñanzas Propias (ICE). Universidad de Córdoba. Área de Metodología de la Investigación. Apartado 5003. 14004 Córdoba.

El seguimiento de la obra geológica de Darwin ayudará al profesorado a reflexionar sobre cómo se construye la geología como conocimiento organizado de la realidad no viva del planeta, cómo van apareciendo las diversas teorías científicas, cómo en la mente de Darwin unas teorías con mayor poder explicativo van sustituyendo a otras. Del mismo modo, Darwin muestra una visión no cerrada ni dogmática sobre la Ciencia.

DARWIN Y LA GEOLOGÍA: EL MARCO HISTÓRICO.

En una carta a su maestro Henslow escrita en Río de Janeiro en mayo de 1832, Darwin insiste en que “la geología y los animales invertebrados serán mis objetivos principales de investigación durante todo el viaje”. Este era el proyecto de trabajo asignado a Darwin por el capitán del *Beagle*, Robert FitzRoy: ya que el *Beagle* debía -entre otras misiones- buscar puertos seguros en América del Sur y en los arrecifes de coral del Pacífico (Moorehead, 1980; Herbert, 1986). Muchos historiadores de la Geología (Hooykaas, 1966; Hallam, 1985; Rudwick, 1986; Gould, 1992; Bowler, 1995) coinciden en afirmar que la década 1830-1839 fue una época de oro para la Geología en Gran Bretaña. Es el momento en que, entre otras cosas, las controversias geológicas (Hallam, 1985; Alvarez Suárez, 1996) conducen a establecer algunos hitos importantes en la escala geológica, como los sistemas Cámbrico, Silúrico y Devónico (cuadro I).

cuadro I:

FECHAS EN LA DEFINICIÓN DE LA ESCALA DEL TIEMPO GEOLÓGICO:

- 1812: Se define el Carbonífero (propuesto por Conybeare)
- 1822: Se define el Cretácico (propuesto en Francia e Inglaterra)
- 1829: Se definen el Jurásico y Cuaternario (por Desnoyers).
- 1834: Se define el Triásico (en Alemania, por von Alberti)
- 1835: Se definen el Cámbrico y Silúrico (por Murchison) (en Siluros, en Gales)
- 1839: Se define el Devónico (por Murchison) (en Devonshire)
- 1839: Se definen el Mioceno, Plioceno y Pleistoceno (por Lyell)

Se puede decir, por tanto, que Darwin tuvo la fortuna de vivir en una época crucial para el establecimiento del paradigma uniformitarista de la Geología (Hooykaas, 1966; Sequeiros, 1981, 1982; Hallam, 1985; Bowler, 1995). Por otra parte, los historiadores insisten hoy en el hecho de que la conversión de Darwin al evolucionismo ocurrió

después de su regreso a Inglaterra (Gruber, 1964; Bowler, 1995). Un estudio computerizado dirigido por Sulloway (1985) ha confirmado la significación de la Geología en el pensamiento de Darwin. Es en geología donde la seguridad de Darwin en su propia capacidad crece de forma asombrosa. Sulloway sostiene que el resultado más importante del viaje de Darwin fue, no las pruebas que obtuvo para la evolución, sino el aumento de seguridad de Darwin en su propia habilidad como pensador científico, que le animó a abordar a su regreso el más profundo problema del origen de las especies.

Con el objeto de facilitar el seguimiento histórico y científico de Darwin, se propone como marco histórico el cuadro siguiente que muestra algunas fechas significativas en la vida de Darwin (cuadro II):

cuadro II:

FECHAS SIGNIFICATIVAS EN LA VIDA DE CHARLES DARWIN

- 1809, 12 febrero: nace en Shrewsbury.
- 1825-1827: Estudios de Medicina en la Universidad de Edimburgo. Fracasa.
- 1828-1831: Estudios Eclesiásticos en el Christ College de Cambridge. Conoce a John Stevens Henslow, Teólogo y profesor de Botánica.
- 1831-1836 (entre los 22 y 27 años) Viaje de Ch. Darwin alrededor del mundo.
- 1836-1859: La época de creatividad científica.
- 1838: *Viaje de un Naturalista alrededor del mundo*
- 1838: Secretario de la Sociedad Geológica de Londres. Lectura del libro de Malthus (1766-1834), “*Primer ensayo sobre la población*” (1798)
- 1859: publicación de *The Origin of Species by mean of Natural Selection*.
- Los últimos 22 años de vida de Darwin son los más fecundos y plagados de polémicas en las que no dio la cara. Iba Huxley, “embajador general del darwinismo”.
- 1871: “*El Origen del Hombre y la Selección Sexual*”.
- 1882: 19 de abril: muere Charles R. Darwin en Down. Tenía 73 años.

“Nací como naturalista”: el joven Darwin y su profesor Henslow.

En su *Autobiografía* (Darwin, F., 1887) el viejo Darwin escribe: “las rancias lecciones de Jameson (en Edimburgo) me decidieron a no leer en mi vida un libro de Geología ni estudiar esta ciencia por ningún pretexto”. Pero cinco años más tarde, hacia 1833 o 1834, durante su viaje alrededor del mundo en el *Beagle*, exclama (Darwin, 1845): “¡La geología sobre todo! (Fig1).

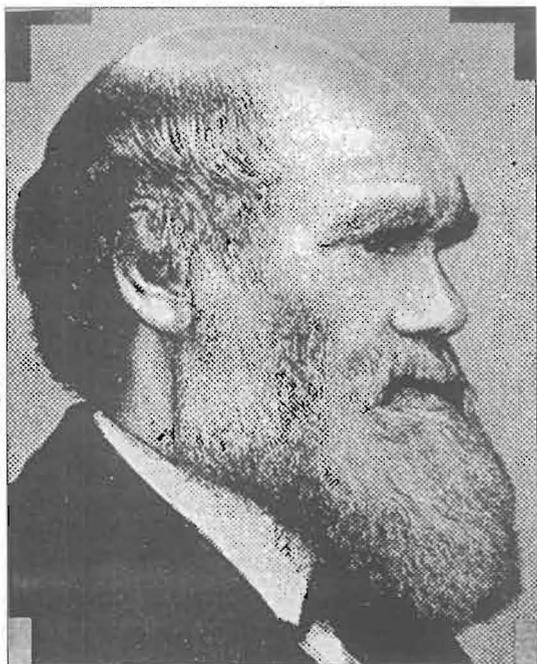


Figura 1: Robert Charles Darwin (1809-1882). Una de sus últimas imágenes. Reproducida del cartel del homenaje a Darwin con motivo del centenario de su muerte en la Universidad Complutense.

¿Qué ha pasado para que en Darwin se de tal mutación de actitud?. En una carta escrita en 1838, siendo secretario de la Sociedad Geológica, escribe: "nacé para ser naturalista" (Colp, 1980). En la *Autobiografía* hay datos significativos de su etapa inicial de aprendizaje: con nueve años mostraba gran afición a coleccionar piedras y animales. Esta afición fue creciendo (a pesar de sus profesores de Edimburgo entre 1825-1827). Participa en reuniones de aficionados y hace sus primeros trabajos científicos y literarios.

Jameson era fervoroso creacionista y diluvista y sus clases eran alegatos apologeticos más que exposición sosegada. Ello parece que soliviantaba al joven Darwin provocándole rechazo (Bowler, 1995). En el Christ College de Cambridge conoce a John Stevens Henslow, clérigo, teólogo y profesor de Botánica, hombre abierto y bondadoso y a Adam Sedgwick, prestigioso catedrático de Geología de Cambridge, que por esa época investigaba el Cámbrico. Una excursión geológica con ambos por el norte de Gales abre a Darwin sus ojos a las Ciencias Naturales. Darwin lee en esos días el *Diario* de Humboldt y se entusiasma con los viajes. Pero la geología que aprende Darwin de Henslow y de Sedgwick está enraizada en la Teología Natural entonces en boga (Ruse, 1979; Moorehead, 1980; Bowler, 1985; Herbert, 1986; Milner, 1995). Las ideas catastrofistas y diluvistas de Sedgwick impregnan en esos días la mente del joven aprendiz de geólogo. Esas son las representaciones mentales que Darwin llevará al inicio de su viaje.

EL CAMBIO CIENTÍFICO: EL VIAJE DEL BEAGLE Y LA LECTURA DE LYELL.

El profesor Henslow conocía las cualidades de Darwin para las Ciencias de la Naturaleza y le ayudó a encontrar su camino. Por esa época, el Almirantazgo inglés prepara una expedición científico-militar por el mundo. El año de 1831, el capitán del *Beagle* y jefe de la expedición, Robert FitzRoy, hace pública una circular en la que ofrece una plaza para un joven naturalista para su viaje alrededor del mundo. Henslow se entera de esta oportunidad y anima al joven Darwin, que acepta encantado. Henslow negoció con su padre la consecución del permiso para este viaje.

Tres circunstancias parecen ser determinantes en el cambio científico operado en Darwin durante los años 1831-1859: por un lado, las observaciones realizadas durante el viaje en el *Beagle* durante casi cinco años y la lectura del libro de Lyell *Principles of Geology*; por otro, las frecuentes discusiones con Robert FitzRoy, ferviente protestante fundamentalista, que casi hacen a Darwin abandonar el viaje en Sudamérica. Un elemento esencial es la experiencia del viaje, una experiencia que podíamos etiquetar de iniciática. En la carta de presentación dirigida al capitán FitzRoy, Darwin escribe: "Mi segunda vida comenzará en este momento y será como un aniversario de cumpleaños para el resto de mi vida". Parece ser (Ruse, 1979; Moorehead, 1980; Bowler, 1995) que Darwin creía que en el viaje alrededor del mundo podría encontrar fácilmente muchas pruebas del Diluvio Universal y de la primera aparición de todas las cosas creadas sobre la Tierra. El itinerario intelectual y científico de su viaje puede rastrearse a lo largo del *Viaje de un Naturalista* publicado en 1839 (Darwin, F. 1982).

Los debates de Darwin con FitzRoy fueron en ocasiones violentos. FitzRoy, fundamentalista, no podía aceptar ningún dato empírico que pusiera en tela de juicio la primacía de los relatos bíblicos. El Diluvio Universal, la aparición por creación al inicio del mundo de todos los animales y plantas y mucho más del hombre eran intocables (Moorehead, 1980). Precisamente en el fragor de estos debates se fué haciendo la luz en la mente de Darwin que fué despojándose de prejuicios para contemplar la realidad tal como es. La lectura de Lyell fué su gran aliada. Aunque las circunstancias no están demasiado claras, el hecho es que Darwin (según escribe en la *Autobiografía*) embarca en el *Beagle* llevando el primer tomo de un libro recién publicado: "Había llevado conmigo el primer volumen de los *Principios de Geología* de Charles Lyell, que estudié atentamente y me resultó de gran utilidad en muchos aspectos". Parece ser (Bowler, 1995) que fué Henslow quien se lo recomendó aunque reconocía que no estaba de acuerdo con sus contenidos.

La observación directa de fenómenos geológicos a la luz de los principios de Lyell harán a Darwin cambiar completamente sus concepciones sobre las ciencias de la Tierra. "Me he convertido -escribe Darwin desde Lima en 1835- en un seguidor entusiasta de las ideas de Mr. Lyell, tal como han sido publicadas en su libro. En mis trabajos geológicos de Sudamérica trato de aplicarlas, incluso en un campo más extenso". Parece ser que fueron las observaciones geológicas en este extenso continente (Darwin, 1845) las que le cambiaron la mente y le abrieron a otras concepciones biológicas (Hooykaas, 1966; Anguita, 1982; Sequeiros, 1992). En 1832, estando en Montevideo, le llegó a Darwin el tomo segundo de los *Principles* de Lyell.

Las observaciones que Lyell mismo realizó en varios países de Europa le llevaron a la conclusión de que no era necesario invocar a las "catástrofes" para explicar la existencia montañas jóvenes y de fósiles marinos en lugares alejados de las costas. Las "causas que actúan en el presente son las mismas que actuaron en el pasado", y son suficientes para explicar los fenómenos de cambio geológico observado en la corteza (Hooykaas, 1966). La gran aportación de Lyell fué incorporar la dimensión del Tiempo a la interpretación del mundo: antes las cosas no eran iguales a como lo son ahora. Las secuencias de rocas del planeta nos permiten reconstruir la historia del pasado, un concepto nuevo nunca imaginado. Lyell vió muy claro el paso del tiempo en las sucesiones geológicas registradas: en un largo pasado terrestre hubo cambios continuos, lentos, graduales que han modificado al planeta actuando con las mismas leyes físicas de siempre. Para Lyell, la Geología es la "ciencia que investiga los cambios sucesivos que han tenido lugar en los reinos orgánico e inorgánico de la naturaleza" (*Principles*, vol.I, pg.1).

Para Lyell, las elevaciones y subsidencias de las costas eran debidas a los efectos acumulados de causas observables, como los terremotos y la erosión. Parece ser que las ideas de Lyell no convencieron al principio al joven Darwin -demasiado influido por su mentor Henslow y por Sedgwick- pero el terremoto de Concepción jugó un papel decisivo. Por julio de 1834 estaba seguro de que la elevación de 1.300 pies de próxima a Valparaíso se debía a movimientos terrestres.

LA SÍNTESIS GEOLÓGICA DE DARWIN

El itinerario intelectual que lleva del creacionismo al evolucionismo tarda Darwin en recorrerlo cuarenta años. Es un itinerario que pasa primero por la geología. En especial, los años que van desde 1836 a 1859, son decisivos en el cambio conceptual de Darwin respecto a la ciencia natural en general y la geología en particular. Sus cartas y el *Viaje de un Naturalista alrededor del mundo* (cuya primera edición es de 1839) son sus obras mas interesantes para valorar el viaje. Todo confluirá en la publicación de *The Origin of Species by means of Natural Selection* (1859). Al volver de su viaje alrededor del

mundo (1836), Darwin inicia la catalogación de los cientos de kilos de materiales enviados pacientemente a su maestro y amigo Henslow. Se va introduciendo en el mundo científico y especialmente en el círculo de los geólogos de tradición Lyelliana. La geología va a centrar su interés en esta primera etapa de producción científica.

En 1837 Darwin conoce personalmente a Von Humboldt y a Charles Lyell. De esta fecha constan los primeros apuntes de *El origen de las especies* (Gruber, 1984) en los que relaciona los cambios biológicos con los geológicos. En 1838 es nombrado Secretario de la Sociedad Geológica de Londres. La lectura de los trabajos geológicos juveniles de Darwin ponen de relieve que tres son los elementos geológicos que producirán en él un cambio conceptual y metodológico: Los fósiles, los volcanes y las islas de coral. Aquí expondremos los dos primeros, el estudio sobre las islas de coral puede seguirse en el trabajo de Domingo, M. y Ambrós, S. en este mismo número.

a) Darwin y los fósiles.

En sus excursiones juveniles con Henslow por los alrededores de Cambridge y en especial por Gales con su maestro Henslow, Darwin se puso en contacto con los fósiles. En aquella época eran interpretados según las ideas de Sedgwick como "restos del Diluvio Universal". Cuando en 1832 llega Darwin a Sudamérica se conocía muy poco sobre los fósiles de este gran continente. Medio siglo antes, Humboldt había descubierto un *Megatherium* en Argentina y había sido remitido al Museo de Ciencias de Madrid (Figura 2).

Al llegar a Punta Alta (en el Río de la Plata), Darwin descubre en unas gravas una gran cantidad de huesos: colmillos, garras, cráneos, caparzones... todos ellos sin representantes vivos (extinguidos) y

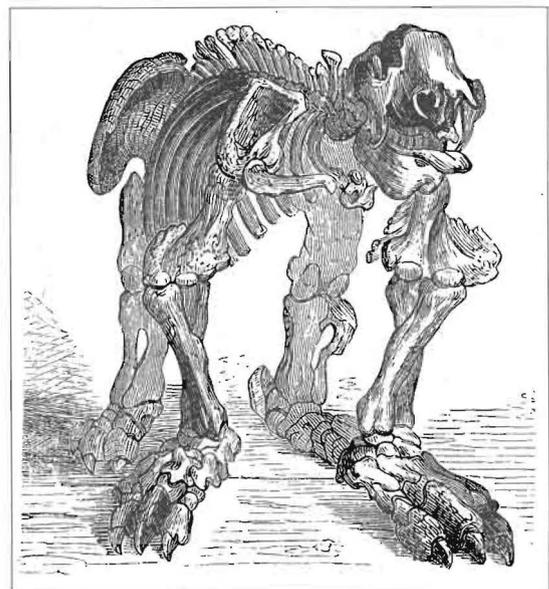


Figura 2: Reconstrucción del esqueleto de un *Megatherium* (Moorehead, 1980).

de gran tamaño. Y algo que a Darwin llama la atención: están mezclados con lechos de conchas marinas. En el *Viaje de un Naturalista* (1839) describe minuciosamente los fósiles y se pregunta: "¿cuál es pues la causa de la desaparición de tantas especies y hasta de géneros enteros?". En sus debates con el capitán FitzRoy se manifiesta la confrontación entre dos paradigmas alternativos: FitzRoy cree a pie juntillas el relato de la Biblia. Darwin, por las evidencias, cree de mayor poder explicativo otras hipótesis: "El estudio de la geología del Río de la Plata y de la Patagonia -escribió más tarde- nos permite concluir que todas las formas que afectan las tierras provienen de cambios lentos y graduales".

Pero hay otros datos interesantes: el 22 de julio de 1834 el *Beagle* llega a Valparaíso (Chile). El barco viene maltrecho por los temporales y debe pasar a reparación. Darwin aprovecha este alto en la navegación para ascender a los Andes donde permanece seis semanas. La geología de las montañas le absorbe. Hace dos descubrimientos que le llaman la atención:

a) A 3.650 metros de altura halla un lecho de conchas marinas fósiles.

b) Algo más abajo, estudia un pequeño bosque petrificado de pinos con conchas marinas alrededor.

La "maravillosa historia" comienza a desvelarse: postula la hipótesis de que estos árboles habían estado alguna vez a orillas del Pacífico (que ahora se encuentra a muchos kilómetros de distancia), luego fueron sumergidos por el mar y posteriormente elevados con las montañas merced a esfuerzos tectónicos hasta 2.100 m de altura. Esta hipótesis (discutida con FitzRoy e inaceptable para éste) tiene para Darwin mayor poder explicativo que acudir a un Diluvio que cubriese hasta esa altura. Son las ideas de Lyell sobre la elevación de las costas para la formación de las montañas las que iluminan las observaciones realizadas en los Andes.

b) Darwin y los volcanes: el terremoto de Concepción.

Desde el verano de 1842 hasta enero de 1844 Darwin dedicó parte de su tiempo en Down a escribir las "*Observaciones geológicas de las Islas Volcánicas*" (Darwin, 1844). Describe los fenómenos volcánicos observados en las Islas de Sant Yago, Fernando Noronha, Tahití, Mauricio, la Roca de Saõ Paulo, Ascensión, Santa Elena y Archipiélago de las Galápagos. Además, refiere las relaciones de estos volcanes con los continentales de los Andes. Darwin describe minuciosamente las observaciones volcánicas (conos, coladas, bombas volcánicas, fuentes termales...). En una ocasión -según refiere en el *Viaje de un Naturalista*- ante la falta de interés de algunos compañeros de travesía, les preguntaba si no sentían curiosidad "por saber cómo se producían los volcanes y los terremotos, por qué unas fuentes eran frías y otras calientes". Algunos "pensaban que tales investigaciones eran inútiles e impías, ya que bastaba con saber que Dios había hecho las montañas".

El 20 de febrero de 1835, el *Beagle* estaba fon-

deado frente a la ciudad de Valdivia, al sur de la costa chilena. Darwin y un compañero de viaje descienden a tierra. De pronto sienten un gran terremoto acompañado de calor y gases del fondo. La ciudad de Concepción quedó destruida. La tierra y la costa estaban ahora más altas que antes. Si podía elevarse unos palmos, a lo largo de miles de años el levantamiento podía ser mucho mayor. Eso explicaría la existencia de fósiles a 3.000 m de altura. Darwin piensa que hay una masa incandescente debajo de esa parte de la costa chilena que provoca frecuentes terremotos y elevaciones pequeñas pero repetidas de las costas para formar cordilleras. En las postrimerías de su viaje, ya tenía una idea formada del movimiento vertical de la corteza terrestre. En 1836, en la última etapa del viaje, escribía en su "libro rojo de notas" que la "geología del mundo entero se volverá sencilla" si todo se puede explicar por elevaciones y subsidencias graduales, lentas y continuas.

MODELOS DE CAMBIO CIENTÍFICO Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA.

Una de las lecciones de la historia de la ciencia es conocer la dinámica interna de los cambios en las teorías científicas. Sulloway (1985) sostiene que el resultado más importante del viaje de Darwin fue, no "las pruebas de la evolución", sino el aumento de seguridad del joven naturalista en su propia habilidad como pensador científico, que le animó a abordar a su regreso el más profundo problema del origen de las especies. Bowler (1995) afirma que es a través de la Geología cómo Darwin construye su propia metodología científica que posteriormente afianzaría con la lectura de J.F.W. Hershell y W. Whewell. No son abundantes los estudios epistemológicos sobre Darwin. Las ideas de Gruber (1984) arrojan bastante luz sobre el modo de construir el conocimiento científico del gran naturalista. El trabajo de Cadevall (1988) ahonda en algunos de estos aspectos filosóficos relacionados con la aparición de las ideas darwinistas.

Las ideas científicas que aparecen históricamente tienen siempre un trasfondo epistemológico. Los filósofos de la ciencia (Estany, 1990; Echeverría, 1989, 1996) discuten el problema del cambio científico: ¿cómo cambian las ideas científicas?. De un modo muy resumido, la moderna filosofía de la ciencia propone una serie de modelos teóricos para intentar explicar cómo en la ciencia se han producido los cambios, y correlativamente, cómo en la mente de los alumnos se puede producir el aprendizaje entendido como cambio científico (Mellado y Carracedo, 1993). La tradición popperiana (Sequeiros, 1991) insiste en el cambio de las teorías científicas por una falsación y consiguiente sustitución por una nueva teoría de mayor poder explicativo. Las tradiciones de tipo más sociológico e historicista (Kuhn, 1975; Lakatos, Toulmin, Laudan, Feyerebend...) (Echeverría, 1989, 1996) insisten en concepciones diferentes de la naturaleza del

conocimiento científico, el estatuto epistemológico del valor de las afirmaciones científicas, las relaciones entre ciencia y sociedad. Pero, de alguna manera todos coinciden en considerar la ciencia como una tarea social de producción de conocimientos organizados en teorías que tienen mayor poder explicativo y son capaces de hacer predicciones.

El aprendizaje del método científico -imprescindible para cualquier tarea científica- suele realizarse con frecuencia a partir de la propia experiencia de investigación. En el caso de Darwin, que comenzó su itinerario intelectual y científico como empirista e inductivista vulgar con preconcepciones muy persistentes (por influjo de Henslow era catastrofista y creacionista) llegó poco a poco a desprenderse de las adherencias no científicas para perfilar en su práctica científica un método científico que hoy podríamos llamar hipotético-deductivo. Algunos autores (Bowler, 1995) llegan a la conclusión de que Darwin fué antes geólogo que biólogo y que gracias a la geología logró manejarse con soltura en el método científico que le llevaría a la gran síntesis unificadora de conocimientos que es la teoría de la Selección Natural (Darwin, 1859).

Gruber (1984) describe minuciosamente a partir de las distintas redacciones de *El Origen de las Especies* el lento y complejo proceso de creación científica de Darwin, desde la ideas semejantes a las de Lyell (sólo hay cambio inorgánico no direccional: el estado estacionario) y todo bajo el gobierno del Creador, hasta la concepción materialista de la edición de *El Origen* (1859) en que el Creador es ya una hipótesis innecesaria y todo se puede explicar mediante el proceso de Selección Natural.

IMPLICACIONES EPISTEMOLÓGICAS Y DIDÁCTICAS DE DARWIN GEÓLOGO.

¿Qué implicaciones didácticas tienen estos planteamientos?. Marco Stifel (1992) presenta en su carpeta de Historia de la Ciencia en Secundaria algunas actividades sobre Darwin a partir del debate en el aula de algunos de sus textos. La propuesta que aquí presentamos va en una dirección diferente: se trata de recorrer en el aula con los alumnos algunos de los itinerarios intelectuales y geológicos que llevan a Darwin a plantearse algunos problemas en Ciencias de la Tierra. El profesor, de acuerdo con el proyecto educativo y el contexto del aula, puede elegir alguno de los tres itinerarios darwinianos: los fósiles, los volcanes o los arrecifes de coral. Se trata de partir del estado de los conocimientos de los alumnos (explicitación de las ideas previas), ayudarles a definir los problemas, formular hipótesis y proponer estrategias de contrastación para llegar a algunas conclusiones. A lo largo de una serie de actividades (experiencias similares a las vividas por Darwin) se pueden ir superando las representaciones no científicas para llegar a una visión más ajustada de la naturaleza y la metodología de las Ciencias de la Tierra. Yus y Sequeiros (1995) han propuesto un esquema de algunos aspectos de Darwin referidos a sus ideas sobre origen de las espe-

cies y selección natural. Se adapta este mismo esquema a las ideas de Darwin sobre la Geología y que pueden ser utilizadas por el profesorado para actividades en el aula para enseñanza de la Geología. Este esquema se propone en el cuadro III:

ALGUNAS ACTIVIDADES DIDÁCTICAS SUGERIDAS:

Como complemento a lo anterior, se sugieren algunas actividades que pueden realizarse con los alumnos y que tienen el carácter de ejemplos prácticos:

Uso didáctico de las controversias geológicas.

El seguimiento de algunas controversias geológicas (Álvarez Suárez, 1996) es una actividad que puede resultar movilizadora para los alumnos: explicitan sus representaciones y encuentran vías de superación. El seguimiento de la controversia de Darwin y el capitán FitzRoy (1831-1835) a bordo del *Beagle* es en este aspecto, muy ilustrativa. Se puede seguir en Moorehead (1980) o en Rudwick (1986). También hay algunos documentales en video (como el de "Charles Darwin") en el que la controversia es patente. Desde un punto de vista práctico se puede escenificar la controversia: un grupo de alumnos busca argumentos a favor de FitzRoy y otro grupo a favor de Darwin.

Lectura y comentarios de textos.

La lectura y debate de algunos textos originales de Darwin puede ser un recurso didáctico de interés: proponemos el siguiente ejemplo:

Lee con atención este texto del naturalista Charles Darwin (1809-1882) autor del Origen de las especies por la Selección Natural. Responde al final a las cuestiones que se proponen.

El texto fué escrito el 5 de octubre de 1833, tal como se expresa en el diario de Darwin, y corresponde a una de las expediciones por tierra realizadas durante el viaje del *Beagle* alrededor del mundo. Mientras la tripulación estaba ocupada en hacer diversas mediciones en el puerto argentino de Bahía Blanca, Darwin emprendió excursiones tierra adentro para investigar las formaciones geológicas de las Pampas en la zona costera.

texto 1:

"Me detengo cinco días en Bajada (río Paraná, Uruguay) y estudio la geología interesantísima de la comarca. Hay aquí, al pie de los acantilados, capas que contienen dientes de tiburón y conchas marinas de especies extinguidas; luego se pasa gradualmente a una marga dura y a la tierra arcillosa roja de las Pampas con sus concreciones calizas que contienen osamentas de cuadrúpedos terrestres. Este corte vertical indica claramente una gran bahía de agua salada pura, que poco a poco se ha convertido en el estuario fangoso al que eran acarreados por las aguas los cadáveres de los animales ahogados."

texto 2:

"La existencia en América meridional de un caballo fósil, del mastodonte, quizá de un elefante y de un rumiante de cuernos huecos, descubierto por los señores Lund y

Cuadro III:

EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS DE DARWIN SOBRE GEOLOGÍA			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	ACTIVIDADES DE CONTRASTACIÓN	IMPLICACIONES DIDÁCTICA
Darwin hasta 1832: su mente es creacionista, diluvista y catastrofista.	La Biblia es un libro científico y por ello no puede contradecir a la Ciencia.	La Biblia tiene razón científica. Existió la Creación directa y el Diluvio Universal. Lo prueban los fósiles. La Teología Natural explica la coherencia entre Biblia y Ciencia.	La perspectiva catastrofista es la situación inicial de algunos de los alumnos. Esas representaciones son muy resistentes al cambio
1832-1834: Ideas de Lyell: ¿cambia la Tierra?. Es el Darwin del Beagle y de las controversias con FitzRoy.	El planeta Tierra cambia, de modo lento, gradual y continuo pero sin dirección de cambio. Lento rechazo del catastrofismo y del Diluvio	Las observaciones geológicas muestran el Uniformitarismo como principio metodológico. Los cambios muestran un "estado estacionario" para la Tierra. Todo se mueve pero todo continúa ordenado.	Insuficiencia del creacionismo, el catastrofismo y el diluvio para explicar muchos fenómenos observados: fósiles, volcanes y arrecifes de coral. ¿Es sostenible el "estado estacionario"?
1832-34: Observaciones sobre los fósiles. ¿Por qué los fósiles son diferentes a los organismos de hoy? ¿Qué hacen los fósiles en lo alto de las montañas?	Los continentes se elevan o se hunden lentamente con lo que los océanos han ido cambiando su posición. La formación de cordilleras se debe a fuerzas geológicas que aún hoy actúan.	Observación de los huesos fósiles del Río de la Plata. Observación e interpretación de los fósiles marinos a más de tres mil metros de altitud en la cordillera Andina. Los fenómenos geológicos son lentos, graduales y continuos.	Los fósiles muestran que los mares y continentes no han estado siempre donde ahora y que el depósito de fósiles es lento a lo largo de mucho tiempo.
1844: Observaciones sobre volcanes y terremotos en la costa Chilena (Valdivia y Concepción).	Los volcanes y los terremotos son manifestaciones de unas masas de lava por debajo de la corteza que elevan los continentes.	La experiencia de los destrozos causados y de los levantamientos de la costa de Chile debido a los volcanes y a los terremotos durante el viaje en el Beagle.	Construcción de una teoría básica de la formación de montañas. La repetición continuada de terremotos y volcanes produce el levantamiento de las montañas y de las costas.
1842: Observaciones en el Beagle los atolones de Keeling ¿se relacionan los cambios biológicos y geológicos?	Hipótesis contraria a Lyell: los atolones no son conos volcánicos hundidos sino islas colonizadas en sus orillas que se hunden lentamente.	El planteamiento del problema de los arrecifes de coral le llevó a emitir una hipótesis nueva. Utiliza técnicas muy simples (la cuerda untada en sebo) para recoger información sobre la distribución de corales vivos y muertos en profundidad. Los corales no viven más allá de 37 metros.	Ideas sobre las interacciones entre geología y biología. Al principio existe un arrecife costero, que luego pasa a arrecife-barrera y con posterioridad a atolón. La acción entre medio y organismo para cambio biológico.

Clausen en las cavernas de Brasil, constituyen un hecho de mucho interés desde el punto de vista de la distribución de los animales. Si dividimos hoy América, no por el istmo de Panamá, sino por la parte meridional de México, por debajo del grado 20 de latitud, donde la gran meseta presenta un obstáculo para la emigración de las especies, modificando el clima y formando una barrera casi infranqueable, tendremos las dos provincias zoológicas de América que tan vivamente contrastan una con la otra."

texto 3:

"Durante mi viaje me refirieron en términos exagerados cuáles habían sido los efectos de la última gran se-

quía. Estos relatos pueden dar alguna luz acerca de los casos en que gran número de animales de todas clases han sido hallados juntos bajo tierra.(...) Un testigo ocular refiere que las bestias de ganadería se precipitaban a beber en el Paraná en rebaños de muchos miles de cabezas; agotados por la falta de alimento les era imposible volver a subir las escurridizas márgenes del río y se ahogaban.(...)

Después de la gran sequía de 1827-32 sobrevino una estación muy lluviosa que trajo consigo vastas inundaciones. Por tanto, es casi seguro que millares de esqueletos han quedado sepultados por los sedimentos del mismo año que siguió a la sequía. ¿Qué diría un geólogo al ver una colección tan enorme de osamentas pertenecientes a

animales de todas las especies y a todas las edades, sepultadas bajo una gran masa de tierra?. ¿No estaría dispuesto a atribuirle al Diluvio Universal más que al curso natural de las cosas?."

Charles DARWIN, **Viaje de un Naturalista alrededor del Mundo** (3ª edic, Londres 1860) (Trad.españ., Anjana edic.,Madrid 1982, pp.126-131).

Se pueden hacer preguntas como éstas:

- 1) ¿Cómo interpreta Darwin los acantilados de Bajada? ¿Qué interpretación daría FitzRoy?(texto 1)
- 2) ¿Es correcta, desde la perspectiva actual, la interpretación de Darwin sobre las provincias biológicas? ¿Cuál sería la explicación creacionista?(texto 2)
- 3) ¿Cómo interpreta Darwin el hecho de encontrar muchos huesos de animales enterrados? ¿Son restos del Diluvio Universal? ¿Hay otras interpretaciones naturales?(texto 3).

Esta actividad puede ayudar a los alumnos a modificar algunas de sus representaciones mentales diluvistas o excesivamente catastrofistas al hilo del pensamiento de Darwin.

Las ideas de Jameson, Sedgwick y Darwin:

Otra actividad sugerida es esta: ¿cómo interpretarían Jameson (creacionista), Sedgwick (catastrofista) y Darwin (uniformitarista) la existencia de huesos de grandes mamíferos hoy extinguidos (como el *Megatherium*) en las llanuras aluviales del Río de la Plata? ¿Cómo interpretaría cada uno la existencia de fósiles marinos tres mil metros en los Andes? ¿Cómo interpretarían las erupciones volcánicas del Teide?

Desde un punto de vista práctico, se puede hacer un debate en el que un alumno interpreta el papel de Jameson, otro de Sedgwick y otro de Darwin.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo recorreremos el itinerario intelectual de Darwin geólogo. Las investigaciones en Historia del pensamiento darwinista muestran que éste fué antes (en el tiempo y en la metodología) geólogo que biólogo. Es más: gracias a su trabajo como geólogo logró superar un conjunto persistente de representaciones mentales referidas al Creacionismo, el Diluvismo y el Catastrofismo biológico que suponían un obstáculo epistemológico muy importante para la construcción mental de una imagen cambiante, dinámica y direccional del planeta Tierra. En el cambio conceptual que se opera en Darwin tienen gran importancia tres elementos: su propia capacidad de análisis de la realidad libre la mente de ataduras, la lectura de los *Principles of Geology* de Lyell y las controversias con el capitán del *Beagle*, Robert FitzRoy.

Darwin fué un científico con ideas geológicas originales sobre muchos campos, sistematizados aquí en el estudio e interpretación de los fósiles, los

volcanes y los arrecifes de coral. Es más: a través de su trabajo como geólogo, Darwin realiza un cambio no sólo conceptual sino también metodológico: encuentra sus herramientas intelectuales para poder abordar el problema más complejo de su aventura intelectual: *el Origen de las Especies por la Selección Natural* (1859) y *el Origen del Hombre por la Selección Sexual* (1871).

BIBLIOGRAFÍA.

Álvarez Suárez, R.M. (1996): Las controversias científicas: sus implicaciones didácticas y su utilidad mediante un ejemplo: la controversia sobre la edad de la Tierra. *Alambique*, Edit.Graó, nº 8, pp. 63-69.

Anguita, F. (1982): Una comparación entre Charles Darwin y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías. En: R.Pidal coord. *Actas II Simposio Nacional sobre la Enseñanza de la Geología*. Gijón, pp.274-285.

Bachelard, G. (1937): *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin, París (trad.españ.: (1992) *La formación del Espíritu Científico*. Editorial Siglo XXI, México).

Bowler, P.J. (1985): *El Eclipse del darwinismo*. Labor Universitaria, Barcelona, 286 pp.

Bowler, P. J. (1995): *Charles Darwin: el hombre y su influencia*. Alianza Universidad, Madrid, nº 832, 271 pág.

Cadevall, M. (1988): *La estructura de la teoría de la Evolución*. Publ. Universidad Autónoma de Barcelona, 144 pág.

Colp, R. (1980): "I was born a naturalist": Charles Darwin's 1838 notes about himself. *Journal of History of Medicine*. 1, 8-39.

Darwin, Ch.R. (1842): *The Structure and Distribution of Coral Reefs*. Londres.

Darwin, Ch.R. (1844): *Geological observations on the Volcanic Islands visited during the Voyage of HMS Beagle*, Londres (2ª edición, 1876).

Darwin, Ch.R. (1845): *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Countries visited during the Voyage of HMS Beagle*. Reimpreso en Londres, Routledge, 1891.

Darwin, Ch.R. (1859): *The Origin of Species by means of Natural Selection*. Londres. (Hay numerosas traducciones al castellano: Ediciones Ibéricas, 1963; Círculo de Lectores, 1982; Bruguera, 1973, 1975, 1976, 1978; EDAF, Madrid, 1979, 1984; Akal, 1985; Espasa Calpe, 1987; Planeta Agostini, 1985....).

Darwin, Ch.R. (1982): *Viaje de un Naturalista alrededor del mundo*. Editorial Aljara, Madrid, 457 pág. (traducción de la edición de 1860).

Darwin, F. edit. (1887): *The Life and Letters of Charles Darwin*. John Murray, Londres, 3 vol. (trad.española: (1977): *Autobiografía y cartas escogidas*. 2 vol. Alianza Editorial, Madrid. (1987): *Darwin: Autobiografía*. Edic. Alta Fulla, "Mundo Científico", Barcelona, 188 pág.).

Echeverría, J. (1989): *Introducción a la Metodología de la Ciencia. La Filosofía de la Ciencia en el siglo XIX*. Barcanova, Temas Universitarios, 322 pag.

Echevarría, J. (1996): *Filosofía de la Ciencia*. Akal, Madrid, 215 pág.

Estany, A. (1990): *Modelos de Cambio Científico*. Editorial Crítica, Barcelona, 233 pág.

Gould, S.J. (1992): *La flecha del Tiempo. Mitos y metáforas en el descubrimiento del Tiempo Geológico*. Alianza Universidad, Madrid, 736, 232 pág.

Gruber, H.G. (1984): *Darwin sobre el hombre: un estudio psicológico de la creatividad científica*. Alianza Universidad, nº 390, 366 pág.

Hallam, A. (1985) *Grandes Controversias Geológicas*. Editorial Labor Universitaria- MEC, Barcelona, 173 pág.

Herbert, S. (1986): Darwin, Geólogo. *Investigación y Ciencia*. Barcelona, nº 118, 80-87.

- Hooykaas, R. (1966): *Geological uniformitarianism and Evolution*. Arch. Internat. History of Sciences, Lieja, 3-19.
- Kuhn, T.S. (1975): *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Marco Stifel, B. (1992): *Historia de la Ciencia: los científicos y sus descubrimientos*. Materiales para la ESO. MEC- Narcea Madrid, fasc. 2, pp. 16-29.
- Mellado, V. y Carracedo, D. (1993): Contribuciones de la filosofía de la Ciencia a la didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 11 (3), 331-340.
- Milner, R. (1995): *Diccionario de la Evolución*. voces "Darwin", "Lyell", "Henslow" y paralelos.
- Moorehead, A. (1980): *Darwin: la expedición del Beagle (1831-1836)*. Ediciones de Serbal, Barcelona, 240 pág.
- Pedrinaci, E. (1994): La historia de la Geología como herramienta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, AEPCT, 2 (2-3), 332-339.
- Rudwick, M.J.S. (1986): *El significado de los fósiles. Episodios de la historia de la Paleontología*. Hermann Blume, Madrid, 347 pág. (traducción del original de 1972).
- Ruse, M. (1979): *La revolución darwinista: la ciencia al rojo vivo*. Alianza Universidad, Madrid, 355 pág.
- Saltiel, E. y Viennot, L. (1985): ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanzas de las Ciencias*, 3(2), 137-144.
- Sequeiros, L. (1981): El método de los paradigmas de Kuhn interpela a las Ciencias Geológicas: Notas para una geología sin dogmas. *Actas I Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología*, Madrid. Edit. Universidad Complutense, 437-444.
- Sequeiros, L. (1982): Acercamiento pedagógico a las ideas de modernidad en Geología: trasfondo ideológico de Charles Lyell y Charles Darwin. En: R.Pidal coord. *II Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología*. Gijón, 260-273.
- Sulloway, F. (1985): Darwin's early intellectual development: an overview of the Beagle Voyage (1831-1836). En: D. Kohn edit. *The Darwin Heritage*. Princeton, NJ, Princ.Univ.Press, pp.121-154.
- Yus, R. y Sequeiros, L. (1995): Los Cambios en los sistemas biológicos. En: Hierrezuelo, J. edit. *Ciencias de la Naturaleza. tomo 4: Cuarto curso de ESO*. Editorial Edelvives, Zaragoza, pp.331-565. ■