

LAS COSMOVISIONES CIENTÍFICAS O MACROPARADIGMAS: SU IMPACTO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA *Scientific Cosmovisions or Macroparadigms: their impact in the Earth Science Teaching*

Leandro Sequeiros*

RESUMEN:

Una cosmovisión, o lo que denominamos aquí como macroparadigma, es una imagen unificada del mundo. Los profesores de Geología enseñamos los conceptos, procedimientos y valores de las Ciencias de la Tierra desde una imagen del mundo, desde una cosmovisión científica que determina la imagen de la realidad natural que los alumnos construyen. Este trabajo pretende una reflexión sobre las grandes cosmovisiones de las ciencias, lo que denominamos macroparadigmas, y su impacto en la enseñanza de la Geología.

ABSTRACT:

A cosmovision, also named here as macroparadigm, is an unified image of the world. The teachers of Geology learn Earth Science concepts, proceedings and values from a world image, from an scientific cosmovision determinig the image of a natural reality constructed by the students. A reflection about the great scientific cosmovisions, what name macroparadigms, and their impact in the teaching of geology is presented in this paper.

Palabras clave: *Cosmovisión, Macroparadigma, Epistemología, Didáctica de la Geología, Historia de la Ciencia.*

Keywords: *Cosmovision, Macroparadigm, Epistemology, Teaching Geology, History of the Science.*

Desde hace tres años, mi ocupación fundamental no es la Geología sino la enseñanza de la Filosofía de la Naturaleza. Al situarme ahora en otras coordenadas diferentes a las de antes, se han producido dentro de mí movimientos diversos. Por una parte (Sequeiros, 1990), considero que hoy como ayer, la enseñanza de la Geología debe tener muy presente el conjunto de orientaciones metodológicas, de criterios de selección de contenidos, la secuencia de contenidos conceptuales, de procedimientos de trabajo científico y de capacidades y habilidades a desarrollar en los alumnos y alumnas, así como los sistemas de valores, actitudes y criterios que deben ir formando a los estudiantes y que constituyen lo que hoy llamamos la *alfabetización científica* (Aguilar, 1999).

El contacto profesional con el mundo de la Filosofía de la Naturaleza y con la Filosofía de la Ciencia me ha ido persuadiendo de que todo lo anterior (los contenidos, los conceptos, los procedimientos, los valores) se sitúan en un espacio de la realidad necesario pero insuficiente. Que es necesario que, tanto el profesorado como los estudiantes, lleguen a tocar, aunque sea con la punta de los dedos, algo más. Algo que está más allá, detrás de todo lo dicho. O

que es el fundamento sobre el que se sitúa. Es importante tener en cuenta que más allá de los conceptos, procedimientos y valores presentes en el currículo de Geología (e incluso dándoles legitimidad como realidades) existen unas determinadas *cosmovisiones del mundo*, unas *imágenes de la realidad natural*, lo que podíamos llamar, modificando con libertad el término consagrado por Kuhn (1962, 1969), -perdón por el neologismo-, unos *macroparadigmas* que determinan el modo de interpretar la realidad natural.

El gran filósofo de la ciencia Karl R. Popper (1902-1994), del que precisamente este año celebramos el centenario de su nacimiento, escribió (Popper, 1962, 1971) que “el objetivo de la Ciencia es la comprensión del mundo”. Esta comprensión es posible mediante un método científico, el método hipotético-deductivo que lleva a la propuesta de *teorías científicas* (Sequeiros, 2001, 2002c). Éstas no se entienden como propuestas definitivas sino como sistemas provisionales que mantienen su funcionalidad en tanto conservan más poder explicativo que sus rivales. Usando la misma metáfora popperiana: “Las teorías son redes que lanzamos para apresar aquello

(*) Área de Filosofía. Facultad de Teología. Campus de Cartuja. Universidad de Granada. Apartado 2002. 18080 Granada. e-mail: lsequeiros@probesi.org

que llamamos “el mundo”: para racionalizarlo, explicarlo y dominarlo. Y tratamos de que la malla sea cada vez más fina” (K. R. Popper, 1962, 1971:57).

Pero hay más: parto de la hipótesis kuhniana (Kuhn 1962) de que hay elementos extracientíficos (filosóficos, ideológicos, religiosos) que han contribuido a la construcción de las teorías científicas (y en particular de la Geología) en momentos históricos determinados, ayudará, sin duda, al profesorado para elaborar en su mente un determinado modo de enfocar su práctica profesional. Y repercutirá, sin duda, en la formación y alfabetización científica de los alumnos y alumnas. Con esto no creo estar descubriendo nada nuevo a todos ustedes.

LOS SISTEMAS DEL MUNDO DE GALILEO

Cuando se me invitó a dirigirme a ustedes en esta clausura, estaba preparando mis clases del año próximo. Y estaba ocupado en la lectura de uno de los libros más sugestivos de la historia del pensamiento científico. En 1632, hace este año 370 años, se publicó una de las obras más polémicas de Galileo Galilei: el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo: tolemaico y copernicano*¹. Desde las primeras ediciones se presenta un frontispicio muy ilustrativo (Figura 1): en él, Aristóteles y Tolomeo discuten con Copérnico sobre la estructura del mundo. No se trata solo de un debate astronómico o matemático. Se trata de un debate sobre la interpretación global de la realidad del sistema material del mundo.

El libro, escrito en forma de diálogo, simula un coloquio que se desarrolla en Venecia en el palacio del patricio veneciano Giovanni Francesco Sagredo (1571-1620), que encarna el espíritu libre y sin prejuicios, proclive al entusiasmo y a la ironía (Rossi, 1998: 97). El otro personaje que entra en escena es el florentino Filippo Salviati (1583-1614), que representa el copernicano convencido y que se presenta como un filósofo natural que une a la solidez de las convicciones la disposición al diálogo pacífico.

El tercer interlocutor es un personaje ficticio: se trata de Simplicio (un nombre muy propio en este caso). Es un aristotélico defensor del saber constituido, el saber “oficial”. No es ingenuo ni incauto, sino que es una persona que defiende un “orden” que le parece no modificable, y que considera peligrosa toda opinión que se aparte de ese orden. Este texto, en el que reprocha a Salviati sus opiniones, expresa bien su pensamiento: “Este modo de filosofar tiende a la subversión de toda la filosofía natural y a desordenar y desbaratar el cielo, la tierra y todo el universo”.

Salviati es la representación del público al que se dirige Galileo. Escrita en italiano, el *Diálogo* no va dirigido a “convencer” a los “doctos profesores” representados por Simplicio. El público al que Galileo

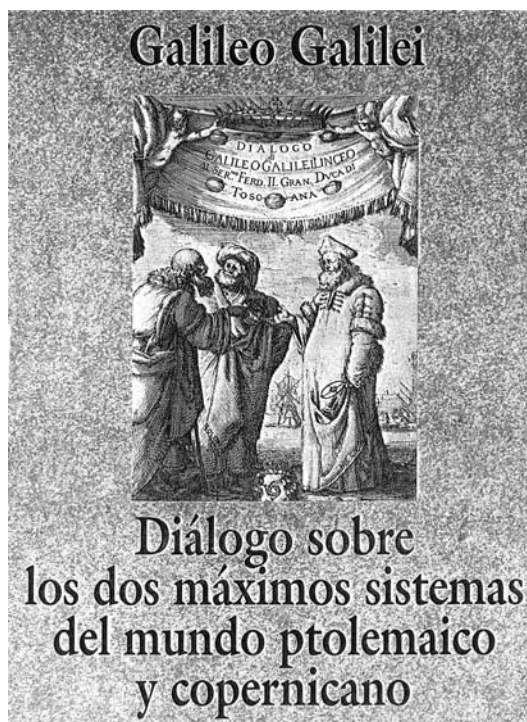


Figura 1: Portada de la reedición de 1995 del *Diálogo de Galileo*. Reproduce uno de los grabados de las primeras ediciones. En ella están presentes Aristóteles, Tolomeo y Copérnico que discuten sobre la realidad material.

quiere persuadir es el de las cortes, de la burguesía y del clero, de las nuevas clases intelectuales.

La primera de las cuatro jornadas que componen el *Diálogo* está dedicada a la destrucción de la cosmología aristotélica; la segunda y la tercera al movimiento diurno y anual de la Tierra respectivamente; y la cuarta a la *prueba física* del movimiento terrestre que Galileo cree haber conseguido con la teoría de las mareas. Repito que, al hablar de *cosmología* no nos referimos solo a los aspectos astronómicos sino a la contextura general de la realidad material, tal como hace la filosofía escolástica.

El objetivo del *Diálogo* galileano es demostrar la verdad de la cosmología copernicana y aclarar las razones que hacen insostenible la *cosmología y la física* aristotélicas. El *Diálogo* no es un libro de astronomía sino de filosofía de la naturaleza. En él se confrontan dos modos diferentes de interpretar y comprender la realidad natural: la antigua y la que él considera moderna. Aunque en las ediciones sucesivas se modificaron las imágenes que presiden la obra, la estructura de éstas permanece siempre. En ella hay tres personajes que discuten: Aristóteles y su aliado Claudio Tolomeo (con sus símbolos en las manos) y Nicolás Copérnico (mostrando su esquema heliocéntrico). El tolemaico y el copernicano no son

(1) En castellano hay una excelente edición de 1995 en Alianza Editorial. En ella se inserta una amplia introducción de 83 páginas del profesor Antonio Beltrán Marí.

solamente modelos cosmológicos contrapuestos. Son, como el mismo Galileo define, *sistemas del mundo*. Lo que aquí nosotros denominamos con un lenguaje más moderno, *cosmovisiones científicas o macroparadigmas*.

LAS COSMOVISIONES CIENTÍFICAS O MACROPARADIGMAS

El punto de partida dicho: el *Diálogo* de Galileo, me sugirió la posibilidad de ayudarles, en esta clausura del *Simposio*, a reflexionar sobre las *cosmovisiones o macroparadigmas* que mantenemos ocultos o más o menos conscientes.

Una cosmovisión, o lo que denomino un *macroparadigma*, es una imagen unificada del mundo. Al hablar de *mundo* nos referimos a una interpretación comprensiva del conjunto de la realidad natural y social. Es lo que también se denomina *macroparadigma*, una amplia matriz disciplinar (Kuhn, 1969).

La *cosmovisión* o el *macroparadigma* (y aquí, sin ahondar excesivamente) los voy a considerar sinónimos, refleja nuestras ideas básicas acerca del pretendido orden natural e incluye en un marco general nuestro conocimiento, real o supuesto, de las diferentes clases particulares de orden natural.

Así como hoy se tiende a utilizar con demasiada prodigalidad la palabra *paradigma*, los conceptos de *cosmovisión* o *macroparadigma* los emplearemos en un sentido más restringido.

Desde luego, cuando hablamos aquí de *cosmovisiones científicas* y de *macroparadigmas* habitualmente nos referimos a sus rasgos principales. La formulación de una cosmovisión completa equivaldría a escribir una auténtica enciclopedia (Artigas, 1999). Al hablar aquí de *cosmovisiones* o de *macroparadigmas* me refiero a los marcos básicos que sirven para unificar nuestras ideas sobre el mundo natural, y en nuestro caso, el mundo natural objeto de las Ciencias de la Tierra.

Por ejemplo, este año 2002 asistimos a la celebración del centenario del nacimiento de dos grandes científicos, ligados a la Geología, y que representan dos modos contrapuestos de interpretar el mundo: uno de ellos es Alcide D. d'Orbigny (1802-1857): naturalista francés partidario del catastrofismo de Cuvier (Sequeiros, 2002a). El otro es George Gaylord Simpson (1902-1984), paleontólogo americano fundador de la Teoría Sintética de la Evolución (Sequeiros, 1999, 2002b). El primero de ellos, se situaría dentro del contexto de la ciencia clásica, ordenada, jerárquica y estática. El segundo de ellos rompe con el mundo jerárquico y terminado para apostar decididamente por la novedad, la evolución.

Han sido muchos los autores que han propuesto diversos modelos de cosmovisiones (grandes imágenes filosóficas basadas en los conocimientos de la naturaleza). El autor citado más arriba, M. Artigas (1999) ha escogido cinco posiciones diferentes que han tenido mucho impacto en la historia del pensa-

miento filosófico de occidente: la de Collingwood (1945), la de Hartmann (1951), la de Stanley Jaki (1982), la de Whitrow (1977) y la de Spradlin y Porterfield (1984). En esta conferencia se ha preferido centrarse en la propuesta de Collingwood, sobre la que se han escrito muchas páginas críticas pero que conserva el frescor de la intuición primera.

LAS TRES COSMOVISIONES CIENTÍFICAS DE COLLINGWOOD

Como se ha apuntado, uno de los autores "clásicos" en la descripción de las grandes cosmovisiones científicas (o *macroparadigmas*) es Robert George Collingwood. Su libro *Idea de la Naturaleza*, publicado póstumamente en 1945, está basado en unas conferencias impartidas en 1934 y 1937 (Collingwood, 1945; 1950). Si bien su autor revisó el texto varias veces, nunca lo vio publicado. El libro se centra en torno a tres ideas (en el sentido de *cosmovisiones científicas*) de la naturaleza que sirven como título a sus tres partes: son, respectivamente, la idea griega, la idea renacentista y la idea moderna. Posiblemente, no sean los títulos más acertados, pero fijémonos mejor en las intuiciones de fondo.

Desde este punto de vista, que algunos encontrarán excesivamente simplistas, Collingwood (1945) diferencia tres grandes cosmovisiones (Artigas, 1999):

	Griega	Renacentista	Contemporánea
<i>Analogía</i>	Organismo	Reloj	Autoorganización
<i>Tipo de orden</i>	Teleológico	Regularidad	Modelización
<i>Racionalidad</i>	Pan-psiquismo	Ajuste de partes	Información
<i>Centrada en</i>	Substancias	Leyes	Procesos
<i>Pautas clave</i>	Formas	Configuraciones	Ritmos

No es ahora el momento de comentar todos y cada uno de los elementos de estas tres cosmovisiones descritas por Collingwood a las que, personalmente, pondría algunos reparos. Pero creo que puede servir como guía o hilo argumental de estas reflexiones.

Collingwood estaba especialmente interesado en los aspectos históricos de los problemas, e incluso adoptó una posición historicista en la cual la metafísica era contemplada dependiendo de las circunstancias históricas. Para caracterizar las tres grandes cosmovisiones él utiliza las metáforas del organismo (la cosmovisión griega), la máquina, y en concreto el reloj (la cosmovisión renacentista), y la historia humana (la cosmovisión moderna), y presenta a esta cosmovisión como superando a las dos anteriores.

Las dos primeras metáforas son un lugar común, ya que son utilizadas por muchos autores. Según Collingwood:

La ciencia natural de los griegos se basaba en el principio de que el mundo natural se halla saturado o impregnado por la mente. Los pensadores griegos consideraban la presencia de la mente en la naturaleza como la fuente de esa regularidad y orden del mundo natural cuya existencia hace posible una ciencia de la naturaleza... Como el mundo de la naturaleza no es sólo un mundo de movimiento incesante y, por lo tanto, vivo, sino también un mundo de movimiento ordenado o regular, declaraban en consecuencia que el mundo de la naturaleza no sólo vive sino que es inteligente; no sólo era para ellos un enorme animal con su “alma” vida propia, sino un animal racional con su “mente” propia. Argüían que la vida y la inteligencia de los seres que habitaban en la superficie de la tierra y en las regiones adyacentes a ella representaban una organización local especializada de esa vitalidad y racionalidad que todo lo impregna (Collingwood, 1950, pág. 14).

La cosmovisión griega: el macroparadigma organicista

Esta concepción *organicista* del mundo muere y renace con frecuencia en la historia de la Geología e incluso puede estar presente en la mente de algunos profesores y alumnos. Basta recorrer algunas de las páginas de las historias de la Geología (Adams, 1938; Capel, 1980, 1985; Ellenberger, 1989) para encontrar multitud de ejemplos dentro del mundo de las ciencias de la Tierra de esta cosmovisión. Así, las diversas teorías antiguas sobre la “generación” de las piedras, el origen de los fósiles, la influencia astral de los minerales, las relaciones entre piedras, agua, aire y fuego en la naturaleza... y muchos ejemplos más. De alguna manera, los alumnos y alumnas de los primeros años mantienen estas cosmovisiones e interpretan el mundo dentro de un macroparadigma organicistas.

Una imagen gráfica que expresa muy bien esta cosmovisión está reproducida en la figura 2. En ella, los umbrales de los cielos abren a dimensiones trascendentes que son aprehendidas por el filósofo natural.

La cosmovisión griega trasciende los siglos y se adentra hasta el siglo XVII. El siguiente texto muestra la pervivencia de este organicismo en un autor muy seguido en el siglo XVII: Athanasius Kircher (1601-1680):

“Y del mismo modo en el Microcosmos, es decir, en el cuerpo externo del hombre, puso (Dios) una gran variedad de miembros, pero todos unidos por una gran concatenación interior. Fíjate en sus miembros principales: el corazón, el hígado, los pulmones, el estómago, el cerebro, los riñones y el intestino, como otras tantas oficinas en las que los cuatro humores, distribuidos de diversos modos, se ayudan mutuamente a través de innumerables canales que forman los conductos de las venas y las fibras de los músculos y cartílagos, porque de otro modo, si



Figura 2: Interpretación organicista medieval del mundo, tomado de un grabado en madera de boj. La metafísica estudia el ser o naturaleza de lo que existe más allá de lo aparente.

fallase un miembro, se destruiría el conjunto (...). Pues bien, el Geocosmos o mundo terreno se basa en los mismos principios y también en su caso, si uno falla, el conjunto cesa en sus operaciones. El cielo, como mostraremos en su lugar, proporciona un alimento ubérrimo que, una vez recibido, actúa dentro de las vísceras de la Tierra, que lo digiere y distribuye a los demás miembros por escondidos canalillos a fin de generar los metales y alimentar a la familia exterior. Pero esta distribución de alimentos no podría hacerse de ningún modo si el Geocosmos careciese de oficinas y canales ocultos, aptos para su cocción, digestión y distribución, como son estas oficinas exteriores” (A.Kircher, *Mundus Subterraneus*, 1665, Libro II, capítulo XVIII).

La imagen kircheriana que está presente en el logotipo de *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* es característica de esta cosmovisión (Sequeiros y Pedrinaci, 1999). Muchos de nuestros alumnos, sobre todo los de los primeros cursos, suelen mantener ideas geológicas que son coherentes dentro de esta cosmovisión o macroparadigma. Pero será necesario avanzar hacia el segundo de ellos.

La cosmovisión renacentista: el macroparadigma mecánico

En cambio, la cosmovisión renacentista, que correspondería básicamente a la revolución científica de los siglos XVI y XVII (Kuhn, 1957, 1962; Rossi, 1998), es presentada por Collingwood (1945, 1950) como una reacción frente a la imagen antigua:

“El punto central de la antítesis radicó en la negación de que el mundo de la naturaleza, el mundo estudiado por la ciencia física, sea un organismo; y en la afirmación de que está desprovisto tanto de inteligencia como de vida. El mundo es incapaz, por consiguiente, de ordenar sus propios movimientos

de un modo racional e incapaz también de moverse a sí mismo. Los movimientos que manifiesta y que los físicos investigan le son impuestos desde fuera y su regularidad se debe a leyes de la naturaleza también impuestas desde fuera. En lugar de ser un organismo, el mundo natural es una máquina: una máquina en el sentido literal y propio de la palabra, una disposición de partes corporales diseñada, montada y puesta en marcha, con un propósito definido, por un ser inteligente fuera de ella. Los pensadores del Renacimiento, lo mismo que los griegos, veían en el orden del mundo natural una expresión de inteligencia: pero para los griegos esta inteligencia era la inteligencia de la naturaleza misma, mientras que para los pensadores renacentistas era la inteligencia de algo diferente de la naturaleza: el creador y gobernante divino de la naturaleza. Esta distinción constituye la clave de todas las diferencias capitales entre la Ciencia Natural griega y la renacentista” (Collingwood, 1950, 15-16; en Artigas, 1999, 117)

Para Collingwood, las metáforas del *organismo* y la *máquina* expresan los rasgos característicos de lo que es la Ciencia de la Naturaleza de ambas cosmovisiones que consideramos aquí *macroparadigmas*. Dentro de las máquinas, el *reloj* es la que mejor se acomoda gráficamente a esta cosmovisión. Tal vez, una de las imágenes visuales que mejor expresan esta cosmovisión es la que dibuja Nicolás Copérnico (1473-1543) en el *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543) y que Galileo convirtió en realidad física: un universo constituido por esferas concéntricas en el que todo gira mecánicamente sin que exista modificación alguna a lo largo del tiempo (Figura 3). “Todo se mueve para que nada cambie”. Es una realidad procesual cíclica que se extiende hacia adelante y hacia atrás del tiempo.



Figura 3: Reproducción de la imagen del cosmos copernicano en el *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543)

Será Sir Isaac Newton quien elevará a gran macroparadigma las ideas elaboradas desde Copérnico a Galileo y Kepler: un universo regido por la regularidad y las leyes. Este texto de Newton expresa bien su pensamiento:

“Hasta aquí he explicado los fenómenos celestes y de nuestro mar a partir de la fuerza de gravedad; sin embargo, no he descrito las causas de la gravedad (...). En realidad, aún no he podido deducir de los fenómenos el por qué de dicha propiedad, y no quiero inventar hipótesis (“hypotesis non fingo”). En efecto, cualquier cosa que se deduzca de los fenómenos se la denomina hipótesis; y en la filosofía experimental no hay lugar para las hipótesis ya sean metafísica, físicas, procedentes de las cualidades ocultas o mecánicas. En esta filosofía, las proposiciones son deducidas de los fenómenos, y convertidas en leyes generales por inducción. Pues ésta fue la manera como se conocieron la impenetrabilidad, la movilidad, y la aceleración de los cuerpos, las leyes del movimiento y la gravedad. Y es suficiente con que la gravedad exista de hecho, opere según las leyes antes expuestas y explique todos los movimientos de los cuerpos celestes y del mar” (Isaac Newton, *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, 1687)

Desde muy antiguo, los “filósofos” encontraron la “regularidad” en los procesos naturales. Ello constituyó el fundamento del pensamiento racional. Si eso es así, infieren que debía haber “leyes” del funcionamiento del mundo natural que deben ser leyes ínsitas en la naturaleza. Frente al caos (que podría observarse en una primera mirada) la racionalidad encuentra un “orden”, una jerarquía.

Ya Galileo había escrito que “la naturaleza se convierte en el libro de la filosofía”. Según Kant, las Matemáticas y las Ciencias Naturales en cuanto ciencias exactas se convierten en presupuestos del filosofar. Para Newton, la función de la Ciencia es conocer las leyes del universo puestas por Dios en el mundo. Es el ideal de la ciencia clásica.

Una de las expresiones más claras del ideal de la ciencia clásica es el proyecto de epitafio para la tumba de Newton, del poeta Alexander Pope:

“la naturaleza y sus leyes yacían escondidas en la noche.
Dijo Dios: (que Newton sea!). Y todo fue claridad”.

Prigogine ha escrito: “Galileo y sus sucesores piensan en la Ciencia como capaz de descubrir la verdad global de la Naturaleza”. El reloj barroco se convirtió en la metáfora del Universo: orden, totalidad, inmutabilidad, armonía, exactitud. En la enseñanza de la Geología son frecuentes las alusiones a este universo regular y preciso regido por leyes rígidas.

Muchas de las conceptualizaciones geológicas que se enseñan en el currículo de geología tienen estas connotaciones: así, el sólido almacén de la geología de Niels Stensen, las ideas geológicas de Cuvier y Lyell están construidas dentro de esta cosmovisión científica o macroparadigma.

Skolimowski (1983, en Núñez de Castro, 1993) ha resumido algunas de las consecuencias de esta mentalidad que está presente en gran parte de los científicos como *filosofía espontánea*:

1. Cualquier fenómeno debe reducirse a las leyes físicas, explicable como concatenación causa-efecto y por consiguiente debe ser mensurable y cuantificable. Las matemáticas son las ciencias reinas, y la “física” su expresión real.

2. El conocimiento auténtico sólo se logra a través del método científico: generalmente se acepta el método inductivo.

3. El conocimiento científico sólo puede conseguirse cuando se aísla y disecciona un evento, de manera que pueda ser reducido a un número claro y definido de variables.

4. Todos los fenómenos son deterministas en su naturaleza (puesta la causa se dará el efecto). No hay posibilidades de emergencias o apariciones de “novedad”.

5. El comportamiento de sistemas complejos es el resultado de la simple acumulación de las partes constituyentes e igual a la suma de ellas.

6. Los cambios producidos en un sistema son concebidos como sucesión de estados de equilibrio. No hay flecha ni dirección del tiempo: son equivalentes el pasado y el futuro.

Dentro del marco de las Ciencias de la Tierra, se puede afirmar que los últimos años del siglo XVIII y primera mitad del siglo XIX marcan el inicio de la Geología moderna con el establecimiento de sus principios básicos. Esta visión de conjunto está presente en los cuatro capítulos históricos con que Charles Lyell prologa el primer volumen de los *Principles of Geology* (1830) y en las respuestas a este volumen del filósofo natural William Whewell (1794-1866). En esencia, puede considerarse la situación previa a 1780 como “preparadigmática” (Sequeiros et. al. 1997a y 1997b). En efecto, no se disponía en ese momento, ni en ninguno anterior, de una teoría fundamentada y universalmente aceptada. Por el contrario cada escuela o grupo de naturalistas defendía modelos explicativos particulares, que con desigual fortuna, ayudaban a entender ciertas características del relieve terrestre y de los cambios a los que se ve sometido. Los debates, las investigaciones y los trabajos de campo llevados a cabo en los años que siguen a 1780 van a concluir con la construcción del uniformitarismo como paradigma que va a dominar la Geología durante más de un siglo. De ahí la enorme importancia de la llamada “época heroica” de la Geología.

El principio de Uniformidad, la más importante contribución científica de Hutton, fue presentada en 1785 ante la *Royal Society of Edinburg*. Y no puede ser comprendida en su dimensión real sin acudir a las reflexiones filosóficas huttonianas sobre el llamado *tiempo profundo*. Para nosotros, hombres y mujeres del siglo XXI, no nos cuesta trabajo aceptar que el universo tiene las mismas propiedades y leyes en todas direcciones. Pero en tiempos de Galileo aún se pensaba que las leyes de la Física sólo tenían apli-

cación en el mundo sublunar. Lo mismo sucede con el tiempo: no nos cuesta trabajo aceptar que las leyes de la Física tienen vigencia desde que existe realidad material y que para explicar los procesos no hay que invocar poderes extraordinarios. Los mismos procesos físico químicos que hoy actúan, actuaron en el pasado. Este fue el gran paso de la geología de Hutton y su principio de uniformidad.

El período entre 1780 y 1840 es considerado por los historiadores de la Geología como uno de los más fecundos en el desarrollo de esta ciencia. Se le suele denominar el “período heroico” de la Geología (Cabezas, 2002). En 1780 se conocía muy poco sobre los procesos que condicionaban la dinámica terrestre pese a los esfuerzos de los primeros ingenieros de minas, los mineralogistas, los coleccionistas de fósiles y los geógrafos y, sobre todo, se trataba de un conocimiento fragmentario, poco estructurado. Medio siglo más tarde, el panorama había cambiado sensiblemente. El uso del principio del actualismo (propuesto por James Hutton, que considera el presente como la llave para la interpretación del pasado) junto con modelos explicativos sobre las causas de los fenómenos geológicos, dieron lugar a lo que puede considerarse la primera “Teoría de la Tierra” suficientemente estructurada y universalmente aceptada. Es decir, un paradigma de gran capacidad explicativa.

El comienzo del segundo período histórico, relevante en el proceso de construcción del *paradigma uniformitarista*, puede relacionarse con la creación de la *Geological Society of London* en 1807. Haciendo explícito el intento de desarrollar el programa científico baconiano, los miembros de esta prestigiosa Sociedad científica (uno de cuyos representantes más conocidos fue William Smith (1769-1839), que siendo sólo agrimensor, desarrolló un amplísimo programa basado en los mapas geológicos, las observaciones estratigráficas y los fósiles) cumplió una función muy importante en el nacimiento y desarrollo de la Geología. Quien mejor representa la construcción social de este período es el abogado y geólogo Charles Lyell, que fue presidente de la misma desde 1835.

Lyell desarrolla un concepto traducido al castellano como *Uniformitarismo*. Éste se presentó con varios significados: *uniformidad de ley* (la invarianza histórica de las leyes de la naturaleza), *uniformidad de procesos* (el principio metodológico de la simplicidad); la *uniformidad de intensidad* (referido a la tasa media de velocidad de los procesos, el gradualismo); y el cuarto significado, el más problemático, el de la *uniformidad de estado o estado estacionario* (el cambio en la Tierra se da de manera lenta, gradual y continua a lo largo del tiempo geológico, pero no existe en estos procesos ninguna *direccionalidad*). Lo que en otro lugar yo mismo he llamado *uniformidad de configuración*.

Aquí Lyell comienza a intuir que no “encajan” sus principios con algo nuevo que va emergiendo: los datos incuestionables de la progresionalidad del registro fósil. Éste muestra que las especies no aparecen todas a la vez sino que se escalonan a lo largo

del tiempo geológico. Y ese escalonamiento revela una progresionalidad: primero aparecen los peces, luego los anfibios. Más tarde los reptiles y las aves. Y finalmente, los humanos.

Durante muchos años, Lyell se opuso a cualquier tipo de direccionalidad en los procesos naturales y, sobre todo, de los procesos biológicos. El problema que se le planteaba a Lyell era el siguiente: si vivimos en un mundo en el que el clima es el factor esencial de equilibrio de los procesos en la Tierra, un planeta en *estado estacionario*, (¿es posible que este mundo pueda cambiar en una determinada dirección con el transcurso del tiempo?) Es compatible la uniformidad de los procesos con la posibilidad de cambio irreversible, sobre todo de los seres vivos?

Lyell se oponía al principio tanto al catastrofismo progresionista de Cuvier tanto como al cambio orgánico por selección natural de Darwin. En el libro que comentamos se describen estas ideas. Pero en 1863 hizo pública su opinión sobre la posibilidad de aceptar el cambio. Este texto aparece en 1872 cuando publica la undécima edición de los *Principles*. En el capítulo 9, Lyell manifiesta una nueva postura: admite que un científico puede aceptar el progreso en la historia de la vida mientras sostiene firmemente las uniformidades de las leyes y de los procesos:

“Pero su confianza no necesita ser debilitada en la constancia invariable de las leyes de la naturaleza, o en su poder explicativo desde el presente hacia el pasado al considerar los cambios del sistema terrestre, en el mundo orgánico e inorgánico, con tal de que no se niegue, al menos en el mundo orgánico, la posibilidad de una ley de evolución y progreso”. (1872, I, 171).

Nos estamos abriendo, en Geología, a la cosmovisión del mundo inacabado. En Geología el gran arquitecto será Charles Robert Darwin (Sequeiros, 1996).

La cosmovisión contemporánea abierta: el macroparadigma del mundo inacabado

Los científicos de finales del siglo XIX y de las primeras décadas del siglo XX percibieron que el viejo macroparadigma mecanicista era insuficiente. Ya en el siglo XVIII, la visión mecanicista del mundo comienza, según Collingwood, a entrar en crisis. La transición a una nueva cosmovisión, a un emergente *macroparadigma*, comenzaría, según él, con Hegel. Y los principales elementos y autores que intervienen en ella son tres: la biología evolucionista con Henry Bergson, la física moderna con la nueva teoría de la materia con Max Plank, Niels Bohr, Louis de Broglie, Erwin Schrödinger y P. A.M. Dirac, entre otros; y la cosmología moderna representada por Alexander y Whitehead. Las metáforas del organismo y de la máquina son sustituidas, para Collingwood, por la historia:

“La visión moderna de la naturaleza, que empieza a cobrar expresión hacia fines del siglo XVIII y a partir de entonces va ganando volumen y solidez

conforme llegamos a nuestros días, se basa en la analogía entre los procesos del mundo natural tal como los estudian los hombres de ciencia, y las vicisitudes de los asuntos humanos tal como los estudian los historiadores” (Collingwood, 1950, p.21)

Paul Davies y John Gribbin (1992, en Artigas, 1999) han escrito recientemente:

“De hecho, a medida que nos acercamos al final del siglo XX, la ciencia se está sacudiendo de tres siglos de pensamiento en los que un paradigma particular, denominado “mecanicismo” ha dominado la cosmovisión de los científicos. En su forma más simple, el mecanicismo es la creencia según la cual el universo físico no es nada más que una colección de partículas materiales en interacción, una máquina gigantesca sin finalidad... La transición hacia un paradigma “postmecanicista”, un paradigma adecuado para la ciencia del siglo XXI, está teniendo lugar a lo largo de un amplio frente: en cosmología, en la química de los sistemas que se autoorganizan, en la nueva física del caos, en la mecánica cuántica y la física de partículas, en las ciencias de la información y, de forma más relucante, en la relación de la Biología con la Física... Este monumental cambio de paradigma está llevando consigo una nueva perspectiva sobre los seres humanos y su papel en el gran drama de la naturaleza... No dudamos de que la revolución que tenemos el inmenso privilegio y fortuna de presenciar delante de nuestros ojos alterará para siempre la idea que el hombre tiene del universo”.

Ya se han señalado más arriba las notas básicas de una nueva cosmovisión científica fundamentada en la autoorganización, la modelización, la teoría de la información, la prioridad de los procesos sobre los elementos descriptivos, y la insistencia en los “ritmos” de la realidad (Skolimowski, 1983; Ayala, 1987; Ellenberger, 1989; Artigas, 1999). La teoría de sistemas, la teoría de catástrofes, la física indeterminista, la teoría de la información, la epistemología popperiana, la sociología del conocimiento científico y otras disciplinas más, han contribuido a elaborar una nueva visión holística, sistémica, compleja del mundo. Lo que se ha dado en llamar el *paradigma sistémico* en contraposición del *paradigma fisiológico* (Sala Catalá, 1987)

Sin caer en simplificaciones o en reduccionismos, es evidente la importancia que se confiere en la nueva cosmovisión de las Ciencias de la Naturaleza al pensamiento evolucionista. La evolución emergente o creativa se constituye en una idea que forma parte del núcleo central de la idea moderna de la naturaleza. La posibilidad de concebir un mundo que cambia implica una revolución en la concepción del tiempo, y sobre todo de lo que Hutton denominó el *Tiempo profundo*. Aquí la Geología ha jugado, en mi opinión, un gran papel. Fue precisamente a partir de las ideas de Lyell expresadas en los *Principios de Geología* como Charles Darwin elaboró los pilares de su síntesis durante el largo viaje del *Beagle* alrededor del mundo (Sequeiros, 1996). El análisis epistemológico de la ilustración de Darwin en *El Origen de las especies por la selección natural* (1859) es

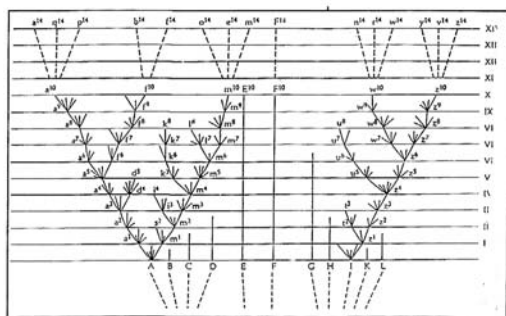


Figura 4: la imagen del mundo orgánico en el Origen de las especies por la selección natural de Charles Darwin (1859).

muy expresivo: las especies cambian a lo largo de intervalos de tiempo ilimitados, de modo que todo se transforma en innovación abierta (Figura 4).

No es que Darwin haya sido el detonante de una nueva cosmovisión del planeta Tierra y de la naturaleza. Pero sí aportó datos de interés para la construcción de una imagen de universo abierto o lo que se ha dado en llamar de *naturaleza inacabada* (Ayala, 1987). Un estudio reciente muestra que la historia de la construcción de este macroparadigma ha sido azarosa (Cabezas Olmo, 2002). El siglo XVIII fue testigo de dos tipos de debate igualmente apasionados en el campo de las Ciencias de la Naturaleza: el sostenido por Karl von Linneo y Jean Louis Leclerc, conde de Buffon, en torno al creacionismo teológico estricto frente al progresionismo materialista; y el debate entre las ideas transformistas de Lamarck frente al catastrofismo de Cuvier.

De un modo muy sintético, el paradigma del universo inacabado (y por ello con flecha de tiempo direccional, evolutiva, emergente...) puede caracterizarse en función de cuatro grandes cambios operados en la ciencia actual y que presentan una ruptura epistemológica con la llamada ciencia clásica mecanicista:

1. El primer cambio es el paso de una concepción de la realidad estática, a una realidad “inacabada”, en cambio, en evolución, constructora del tiempo irreversible. Aquí el papel de las ideas de Darwin es fundamental.

2. Cambio en la concepción radicalmente diferente de la naturaleza de las leyes que rigen los fenómenos: hay un paso de una concepción determinista a una concepción indeterminista. La mecánica clásica y el principio de indeterminación de Heisenberg juega un gran papel. El concepto de Selección Natural es indeterminista.

3. Un cambio en la concepción del Universo: de un Universo concebido bajo el patrón del orden (kosmos) se ha pasado a un universo concebido bajo el patrón del caos de donde emerge el orden. Aquí intervienen las ideas cosmológicas desde Fred Hoyle hasta Stephen Hawking.

4. Cambio en la concepción de la misma naturaleza y objetivos de la Ciencia. Está motivado por la introducción de nuevas epistemologías historicistas y por la tecnificación de los saberes. En este punto es importante la aportación de Popper y los postpopperianos.

Evidentemente, todo esto tiene implicaciones para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. La enseñanza tradicional de la Geología insistió más en los aspectos “descriptivos” y “sistemáticos” que en los procesuales y sistémicos. Precisamente, la línea que desde sus inicios la AEPECT pretende potenciar estriba en una enseñanza de las Ciencias de la Tierra más en consonancia con una visión dinámica, abierta, sistémica de los procesos que acontecen al planeta Tierra en solidaridad con el sistema solar y el conjunto del universo (Anguita, 1993; Tuzo Wilson 1993)

Precisamente, las propuestas, las experiencias, las actividades de aula que en los Simposios sobre la Enseñanza de la Geología se han discutido pretenden apuntar en esta dirección. No podemos cerrar estas reflexiones sin aludir a un hombre, naturalista, paleontólogo evolucionista y filósofo de la naturaleza que nos dejó el 20 de mayo: Stephen Jay Gould. Es una coincidencia curiosa el que ha fallecido en 2002, 30 años después de publicar con Niels Eldredge (1972) el famoso trabajo sobre los *equilibrios intermitentes (punctuated equilibria)* y 25 años después de su trabajo (Gould, 1977) *Metáforas eternas en Paleontología*.

CONCLUSIÓN

A lo largo de estas páginas hemos reflexionado sobre las *cosmovisiones científicas* que se sitúan más allá de los puros conceptos científicos en Geología. Hemos descrito, aunque sea someramente, los grandes trazos de los *macroparadigmas* que pretenden unificar la visión de la realidad. También en las Ciencias de la Tierra se ha operado una revolución científica en estos últimos años con la introducción de las aproximaciones interdisciplinares al estudio de la Tierra dentro del contexto del Sistema Solar y del universo. Conducir a los alumnos desde unas posturas precientíficas propias del macroparadigma organicista hasta una concepción abierta, inacabada, procesual, evolutiva y sistémica del mundo (*macroparadigma sistémico*) es una larga tarea. Una tarea que ha de realizarse recorriendo el itinerario completo. La historia de la Ciencia (y de las Ciencias de la Tierra, en particular) muestra que el conocimiento humano de la naturaleza ha tenido que atravesar, sin pararse en ella, la densa y apasionante etapa de las ciencias descriptivas (propias del *macroparadigma mecanicista*).

BIBLIOGRAFÍA

Adams, F. D. (1938). *The birth and development of the Geological Sciences*. Dover Public.Inn., New York, 506 pág.

- Aguilar, T. (1999). *Alfabetización científica y educación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid, 115 pág.
- Anguita, F. (1993). Dinomanía y cambio global: dos caras de las Ciencias de la Tierra en la sociedad de hoy. *La Teoría General de los Sistemas y las Ciencias de la Tierra. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1 (2), 66-67 y 87-89
- Artigas, M. (1999). *La mente del Universo*. EUNSA, Pamplona, Colección filosófica, 143, 465 pág.
- Ayala, F. J. (1987). *La naturaleza inacabada*. Biblioteca Científica Salvat, Barcelona, n1 93, 270 pág.
- Cabezas Olmo, E. (2002). *La Tierra, un debate interminable. Una historia de las ideas sobre el origen de la Tierra y el Principio de Uniformidad*. Prentas Universitarias de Zaragoza, 204 pág.
- Capel, H. (1980). *Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII*. "Cuadernos GeoCrítica", Barcelona, números 27/28, 1-94.
- Capel, H. (1985). *La Física Sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la geomorfología española*. Ediciones del Serbal, Barcelona, 223 pág.
- Collingwood, R. G. (1945). *The idea of Nature*. Clarendon Press, Oxford. Traducción española *Idea de la Naturaleza*. Fondo de Cultura Económica, México, 1950.
- Ellenberger, F. (1989). *Historia de la Geología. Volumen I: de la Antigüedad al siglo XVII*. Editorial Labor, Barcelona.
- Eldredge, N. y Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. En: T. J. M. Schopf (edit.). *Models in Paleobiology*. Freeman, San Francisco, 82-115.
- Gould, S. J. (1977). Eternal Metaphors of Palaeontology. En: A. Hallam (edit.), *Patterns of Evolution*. Elsevier, New York, 1-25.
- Kuhn, T. S. (1957). *The Copernican Revolution*. Harvard College. Traducción española: *La revolución copernicana*. Ariel, Barcelona, 1978.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University Chicago Press. Traducción española: *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
- Kuhn, T. S. (1969). *Second Thoughts on Paradigms*. University of Illinois Press. Traducción española: *Segundos pensamientos sobre paradigmas*. Editorial Tecnos, Madrid, 1978.
- Núñez de Castro, I. (1993). Ciencia y post-utopía. En: A. Dou, edit., *Después de las utopías*. Universidad Comillas, Madrid, 17-43.
- Popper, K. R. (1962). *The logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, Londres. Traducción española: *La lógica de la investigación científica*. Edit. Tecnos, Madrid, 1971.
- Rossi, P. (1998). *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*. Crítica, Barcelona, 276 pág.
- Sala Catalá, J. (1987). *Ideología y Ciencia Biológica en España entre 1860 y 1881. La difusión de un paradigma*. Cuadernos Galileo de Historia de la Ciencia, SCIC, Madrid, n1 8, 134.
- Sequeiros, L. (1990). ¿Cómo seleccionar los contenidos básicos de la Geología?. *VI Simposio Enseñanza de la Geología*, La Laguna, septiembre 1990, Actas pp. 404-419.
- Sequeiros, L. (1994). La formación del profesorado de Geología: nuevos saberes y nuevas tareas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2 (2-3). VIII Simposio Enseñanza de la Geología, 318-323.
- Sequeiros, L. (1996). Darwin como geólogo: sugerencias para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 4,1, 21-29.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Álvarez, R. M., Valdivia, J. (1997a). James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795): consideraciones didácticas para Secundaria. *Enseñ. Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 5,1, 11-20.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Berjillos, P. y Garcia de la Torre, E. (1997b). El bicentenario de Charles Lyell (1797-1875): consideraciones didácticas para Educación Secundaria. *Enseñ. Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 5,1, 21-31.
- Sequeiros, L. (1999). "El sentido de la Evolución" de Georges G. Simpson (1949). Cincuenta años de debates entre biología, filosofía y teología. *Proyección*, Granada, 193 (Junio), 137-154.
- Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1999) De los volcanes de Kircher a la GAIA de Lovelock. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 7(3), 187-193.
- Sequeiros, L. (2001a). Popper y Kuhn: veinte años después- Reflexión didáctica en el centenario del nacimiento (1902) de Karl R. Popper. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(1), 2-12.
- Sequeiros, L. (2001b). El *Geocosmos* de Athanasius Kircher: una imagen organicista del mundo en las Ciencias de la Naturaleza del siglo XVII. *Llull, Soc. española de Historia de las Ciencias y las Técnicas*, 24, 755-807.
- Sequeiros, L. (2002a). Otro centenario más: el bicentenario del nacimiento del gran naturalista Alcide D. d'Orbigny (1802-1857). *Boletín de la Comisión de Historia de la Geología de España*. SGE, n1 18, pág. 6-9.
- Sequeiros, L. (2002b). El centenario del nacimiento de George Gaylord Simpson (1902-1984) y la paleontología a mediados del siglo XX. *Boletín de la Comisión de Historia de la Geología de España*. SGE, n1 18, páginas 9-11.
- Sequeiros, L. (2002c). Karl R. Popper (1902-1994): un siglo de "búsqueda sin término" de la verdad. *Proyección*, Granada, XLIX, 204, 33-59.
- Skolimowski, H. (1983). Problemas de racionalidad en biología. En: F. J. Ayala y Th. Dobzhanski (edit.), *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Ariel, Métodos, Barcelona, 267-291.
- Tuzo Wilson, J. (1993). Revolución en las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1 (2), 72-86. ■