

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA**

Departamento de Filosofía I (Metafísica y Teoría del  
Conocimiento)



**LA TIERRA, OBJETO PARADIGMÁTICO:  
CONSECUENCIAS EPISTEMOLÓGICAS DE UNA  
CONFRONTACIÓN ENTRE TRADICIONES  
GEOLÓGICAS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

José Luis San Miguel de Pablos

Bajo la dirección del Doctor:

Ana Rioja Nieto  
Cristóbal Viedma Molero

**Madrid, 2003**

**ISBN: 84-669-2547-3**

Departamento de Filosofía I (Metafísica y Teoría del Conocimiento)

FACULTAD DE FILOSOFÍA

U C M

# **La Tierra, objeto paradigmático**

**Consecuencias epistemológicas de una confrontación  
entre tradiciones geológicas**

TESIS DOCTORAL

presentada por **José Luis San Miguel de Pablos**

y codirigida por Ana Rioja Nieto, profesora titular de Filosofía de la UCM,  
y Cristóbal Viedma Molero, profesor titular de Ciencias Geológicas de la UCM

2003

*A Marlène San Miguel*

# S U M A R I O

	Pág.
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
I.1. Filosofía “de” la ciencia: la indefinición del genitivo .....	1
I.2. La Tierra, objeto científico y foco filosófico .....	4
I.3. El interés de una filosofía de la geología .....	12
I.4. Plan de la tesis .....	16
<b>Capítulo 1. Consideraciones filosóficas preliminares</b> .....	21
1.1. Justificación del capítulo .....	21
1.2. Tradiciones culturales .....	24
1.2.1. Tradiciones y valores .....	24
1.2.2. De la inconmensurabilidad al choque de tradiciones .....	28
1.2.3. Del reconocimiento de la perspectiva a la superación de la inconmensurabilidad .....	30
1.3. La ciencia y la Tierra .....	33
1.3.1. ¿Búsqueda de la verdad o control de las apariencias? .....	33
1.3.2. Cuestiones metodológicas .....	40
1.3.3. Un laboratorio de tiempo .....	52
1.3.4. ¿Leyes geológicas? .....	55

1. 4. Paradigmas .....	63
1.4.1. Entre sujeto y realidad .....	63
1.4.2. Thomas Kuhn y la psicología de la Gestalt .....	66
1.4.3. Los <i>themata</i> y el <i>imaginario</i> .....	70
1.4.4. Paradigma y metafísica: Popper y Koyré .....	76
1. 5. El desafío de la complejidad .....	79
ANEXO 1. La <i>Gestalttheorie</i> .....	87
ANEXO 2. Las matemáticas de lo complejo .....	90
<b>Capítulo 2. La interrogación sobre la Tierra, de la Antigüedad a 1780</b> .....	95
2.1. Dos mitos de la Tierra .....	95
2.2. Visiones grecolatinas .....	98
2.3. De la tradición bíblica a la Edad Media .....	104
2.4. Las “repercusiones telúricas” de la revolución copernicana .....	111
2.5. Un abigarrado desfile de imágenes .....	113
2.6. Geología, ¿global o local? .....	125
2.7. De la forma al devenir: tiempo y proceso en geología .....	129
2.8. Resumiendo: cuando una imagen vale más que mil palabras .....	139

<b>Capítulo 3. La etapa inmadura de la geología científica (1780-1960) . . . .</b>	<b>141</b>
3.1. El nacimiento de la geología: neptunismo y plutonismo . . . . .	141
3.1.1. La escuela neptunista . . . . .	141
3.1.2. James Hutton y la tradición geo-organicista . . . . .	145
3.1.3. Los primeros paradigmas geológicos . . . . .	152
3.2. De la polémica catastrofismo-actualismo al ascenso del direccionalismo	154
3.3. La evolución de la imagen del interior de la Tierra . . . . .	162
3.4. Geología <i>versus</i> geofísica: el enfrentamiento de dos ciencias de la Tierra a finales del siglo XIX . . . . .	165
3.5. La síntesis de Eduard Suess . . . . .	168
3.6. Movilistas contra fijistas . . . . .	174
3.6.1. Preludio y aplazamiento de una revolución científica . . . . .	174
3.6.2. Descripción de la hipótesis wegeneriana. Argumentos favorables . . . . .	176
3.6.3. Del rechazo a la marginalización . . . . .	179
3.6.4. Las alternativas . . . . .	185
3.7. En el umbral de la revolución geotectónica . . . . .	190
3.7.1. ¿Contracción o dilatación? . . . . .	190
3.7.2. La cicatriz de la Luna . . . . .	196
3.7.3. La “resistencia” movilista . . . . .	197
3.8. Comentario final: la guerra de los principios reguladores . . . . .	200

<b>Capítulo 4. La revolución científica de la tectónica de placas . . .</b>	<b>203</b>
4.1. Una Tierra llena de energía . . . . .	203
4.1.1. Radiactividad interna . . . . .	203
4.1.2. Energía, entropía y estructuras disipativas . . . . .	205
4.1.3. La “Tierra pulsante” de Joly . . . . .	209
4.2. Hacia la tectónica global . . . . .	212
4.2.1. El manto convectivo . . . . .	212
4.2.2. Cosecha de datos . . . . .	218
4.2.2.1. Los nuevos datos oceanográficos . . . . .	218
4.2.2.2. Datos sísmicos, volcánicos y gravimétricos . . . . .	220
4.3. La composición del puzzle terrestre . . . . .	221
4.3.1. El gran juego telurodinámico: algunos participantes ilustres . . . . .	221
4.3.2. “Vendas que se caen de los ojos” . . . . .	225
4.4. La nueva imagen de la Tierra tras la <i>revolución de la tectónica de placas</i> . . . . .	228
4.5. Los nuevos enigmas de una Tierra “verdaderamente móvil” . . . . .	235
4.6. El “nuevo” interior de la Tierra . . . . .	238
4.6.1. Las tres geosferas clásicas . . . . .	239
4.6.2. Complicación estructural del modelo de las geosferas . . . . .	240
4.6.3. Hacia una geodinámica interna en tres dimensiones . . . . .	244
4.7. Geología y planetología . . . . .	247
4.7.1. La generalización de la geología, horizonte disciplinario . . . . .	247
4.7.2. La tectónica de los planetas terrestres: diversidad actual y modelización evolutiva . . . . .	249
4.7.3. Los meteoritos y el interior de la Tierra . . . . .	253

4.8. Las enseñanzas de una revolución científica .....	254
<b>Capítulo 5. Revolución en la percepción de la Tierra: la hipótesis Gaia</b> .....	<b>259</b>
5.1. A modo de introducción .....	259
5.2. El nacimiento de la hipótesis Gaia .....	260
5.2.1. De Marte a la Tierra .....	260
5.2.2. La hipótesis .....	263
5.2.3. La contribución de Lynn Margulis .....	270
5.3. Raíces históricas de la hipótesis Gaia .....	274
5.4. Gaia, entre nuevo paradigma y tradición ancestral .....	284
5.5. Metodología gaiana .....	290
5.6. Los <i>contextos</i> de la hipótesis Gaia .....	291
5.7. El desarrollo de la investigación gaiana .....	306
5.7.1. La “ciencia normal” gaiana .....	306
5.7.2. El ciclo CO <sub>2</sub> - CO <sub>3</sub> Ca .....	308
5.7.3. El refrescante ciclo del azufre .....	316
5.7.4. Más sobre el efecto invernadero .....	318
5.7.5. La “revolución preventiva” del oxígeno .....	319
5.8. Geofisiología .....	324
5.8.1. La salinidad oceánica .....	325
5.8.2. Raíces termodinámicas .....	326
5.9. El “contexto de aplicación” de Gaia .....	328



5.10. Resumiendo: un gran debate de fondo . . . . .	333
---	-----

**Capítulo 6. Gaia y Tártaro. Dualidad y complejidad en el sistema Tierra** 339

6.1. Sistemas: de la parte al todo . . . . .	339
6.1.1. Sobre el difícil e imprescindible término “sistema” . . . . .	339
6.1.2. El universo organísmico de von Bertalanffy . . . . .	342
6.1.3. Sistemas y formas . . . . .	345
6.1.4. Una fenomenología de raíz ontológica . . . . .	346
6.1.5. Las estructuras disipativas como fundamento físico de la teoría de Sistemas . . . .	349
6.1.6. Teoría de sistemas y complejidad . . . . .	353
6.2. El sistema Tierra y sus distintas acepciones . . . . .	355
6.3. Dos estructuras disipativas globales . . . . .	359
6.4. Orden a partir del Caos. La estructura del Tártaro . . . . .	363
6.5. Gaia y Helios. La segunda megaestructura disipativa planetaria . . . . .	373
6.6. “Sistema Tierra”: ¿dualidad o unidad compleja? . . . . .	377
6.7. La caracterización onto-fenómica de las disciplinas científicas y el caso específico de la geología . . . . .	383
6.7.1. Ontología sistémica e intuición de realidad . . . . .	383
6.7.2. La geología, ciencia de las “realidades coherentes análogas a la Tierra” . . . . .	390

<b>Conclusiones</b> .....	395
<b>Epílogo</b> .....	403
<b>Bibliografía</b> .....	407

---

### **CUADROS incluidos en el texto**

	Pág.
Cuadro 1. Fósiles .....	110
Cuadro 2. [comparativo: composición de atmósferas planetarias] .....	264
(Lovelock, J.E., <i>Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra</i> , H. Blume, Madrid, 1983, p. 54)	
Cuadro 3. [claves de la contraposición entre dos tradiciones culturales] .....	285

# INDICE DE FIGURAS

con indicación de procedencia

	Pág.
Figura 1. Cubo de Necker . . . . .	92
(Woodcock & Monte Davis, <i>Teoría de las catástrofes</i> , Cátedra, Madrid, 1986, p. 26)	
Figura 2. El mundo concéntrico, según Aristóteles . . . . .	101
(Deparis & Legros, <i>Voyage à l'intérieur de la Terre</i> , CNRS, París, 2000, p. 42)	
Figura 3. El globo terráqueo y su evolución temporal, según Descartes . . . . .	117
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 105)	
Figura 4. El interior de la Tierra, según Kircher . . . . .	119
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 111)	
Figura 5. Modelo de la Tierra, de Burnet . . . . .	120
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 141)	
Figura 6. Modelo de la Tierra, de Woodward . . . . .	121
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 144)	
Figura 7. Modelo de la Tierra, de Halley . . . . .	123
(Deparis & Legros, refer. a <i>op. cit.</i> en pág. web)	
Figura 8. Las dos hipótesis de Lazzaro Moro . . . . .	136
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 160).	
Figura 9. Modelo de Cordier del interior de la Tierra . . . . .	163
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 280)	

Figura 10. Los tres modelos de Hopkins . . . . .	164
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 307)	
Figura 11. Mares y continentes antiguos en el modelo de Suess (según Haug) . .	170
(Haug, E., “Les géosynclinaux et les aires continentales”, <i>Bull. Soc. géol. de Fr.</i> , 3 <sup>e</sup> sér. 28, 1900, p. 633)	
Figura 12. El estallido de la Pangea, según Wegener . . . . .	181
(Wegener, A., <i>El origen de los continentes y océanos</i> , Pirámide, Madrid, 1983, p. 28)	
Figura 13. La Tierra en expansión, según Carey . . . . .	195
(Scheidegger, <i>Principles of Geodynamics</i> , Springer-Verlag, Berlín, 1958, p. 204)	
Figura 14. Bandeado magnético fondooceánico . . . . .	219
(Tuzo Wilson, “Dérive des continents”, en <i>Encyclopædia Universalis</i> , Corpus 7, p. 205)	
Figura 15. Epicentros de grandes seísmos (1913-1933) . . . . .	221
(Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 480)	
Figura 16. Placas tectónicas terrestres . . . . .	231
(Aubouin, J., “Tectonique des plaques”, en <i>Encyclopædia Universalis</i> , Corpus 22, p. 159)	
Figura 17. El supercontinente Pangea . . . . .	233
(Aubouin, J., “Tectonique des plaques”, art. cit., p. 153)	
Figura 18. Sección del interior de la Tierra, según la actual teoría geodinámica . . . . .	245
(Anguita, F. & Moreno, F., <i>Procesos geológicos internos</i> , Rueda, Madrid, 1991, p. 38)	
Figura 19. Corte del interior de la Tierra, según Stacey . . . . .	246
(Stacey, D.S., <i>Physics of Earth</i> , cit. por Deparis & Legros, <i>op. cit.</i> , p. 560)	
Figura 20. Las dos evoluciones alternativas de la temperatura terrestre, según Lovelock . . . . .	266
(Lovelock, J.E., <i>Las edades de Gaia</i> , Tusquets, Barcelona, 1993, p. 166)	

Figura 21. Evoluciones alternativas de la temperatura terrestre, según Tyler Volk . . . . .	267
(Tyler Volk, <i>Gaia toma cuerpo</i> , Cátedra, Madrid, 2000, p. 245)	
Figura 22. Fluctuaciones del nivel del mar . . . . .	310
(Westbroek, P., <i>Vive la Terre!</i> , Seuil, París, 1998, p. 74)	
Figura 23. El ciclo gaiano del azufre, según Lovelock . . . . .	317
(dibujo original)	
Figura 24. “Respiración de Gaia” según Tyler Volk . . . . .	330
(Tyler Volk, <i>op. cit.</i> , p. 26)	
Figura 25. Células de Bénard . . . . .	368
(García Velarde, M. & Normand, C., “Convection”, en <i>Scientific American</i> , 243-1, julio 1980, p. 99)	
Figura 26. Subducción “asimétrica” actual . . . . .	369
(Davies, G.F., “On the emergence of plate tectonics”, <i>Geology</i> , 20, nov. 1992, p. 966)	
Figura 27. Subducción “simétrica” arcaica, según G.F. Davies . . . . .	370
(Davies, G.F., “On the emergence...”, p. 966)	
Figura 28. El ciclo trófico y su apertura . . . . .	376
(dibujo original)	
Figura 29. Nacimiento de niveles sucesivos de organización, según E. Laszlo . . . . .	384
(Laszlo, E., <i>Evolución: la gran síntesis</i> , Espasa Calpe, Madrid, 1988, p. 49)	

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera mencionar en primer lugar a Peter Westbroek, de la Universidad de Leiden (Holanda), que me ha aportado una ayuda inestimable con sus comentarios, sugerencias y críticas en relación a la hipótesis Gaia y a los temas conectados con ella. Me siento asimismo claramente en deuda con los profesores Francisco Anguita, de la Facultad de CC. Geológicas de la U.C.M., y José Luis González Recio, del departamento de Filosofía-I, que me han transmitido, de la manera más sincera y abierta, sus clarificadoras opiniones sobre diferentes aspectos de la tesis. El profesor Anguita me ha facilitado, además, distintas referencias y datos geológicos que me han sido de gran utilidad.

Un recuerdo especial para mi compañera de varios cursos de doctorado, y entrañable amiga, Mercedes Iglesias, por las iluminadoras conversaciones que hemos mantenido, no muy frecuentemente, es cierto, pero siempre con gran entrega y tensión indagadora, fruto –pienso yo- de nuestra común “sed de verdad”.

Deseo asimismo dejar constancia explícita de mi gratitud hacia mi codirectora, Ana Rioja Nieto, del departamento de Filosofía-I de la Facultad de Filosofía de la UCM, que me ha estimulado constantemente con su respeto por mis propios planteamientos, escrupulosamente mantenido desde unos posicionamientos filosóficos no siempre coincidentes con los míos, y asimismo con sus sugerencias críticas y su diálogo permanente. E igualmente hacia mi codirector geólogo, Cristóbal Viedma Molero, de la Facultad de CC. Geológicas de la UCM, cuya gran sensibilidad hacia la Madre Tierra –que, por lo demás, tan a fondo conoce-, unida a nuestra acusada afinidad filosófica, me ha ayudado a mantener el norte.



## **La Tierra**

**vista desde el espacio exterior**

# INTRODUCCION

## I. 1. Filosofía “de” la ciencia: la indefinición del genitivo

Hacer filosofía de la ciencia supone fijar inicialmente una perspectiva, lo cual implica asumir un cierto grado de distancia con respecto al objeto de reflexión, en este caso la ciencia misma. Según cuál sea esa distancia resultarán formas distintas de entender dicha filosofía.

1. Si el filósofo se posiciona muy cerca del punto de vista del científico, hará una filosofía al servicio del desarrollo consistente de la ciencia (en general) o de una disciplina científica en particular. Será un filósofo *de* (en sentido posesivo) la ciencia, un fiel servidor de ella; su “conciencia lúcida”, si se quiere.

2. Si el filósofo da un paso atrás y ya no se identifica sin más con los puntos de vista de la ciencia de su tiempo, pasará entonces a ser un explorador crítico del alcance cognitivo y de los límites de la ciencia, de su metodología, sus apuestas ontológicas y metafísicas, su dimensión axiológica, etc.

3. Si el filósofo se aleja todavía más, y adquiere una perspectiva lo suficientemente distante, podrá seguir percibiendo aun con nitidez -aunque no seguramente con detalle- lo que la empresa científica es, y será capaz *además* de contemplar otros modos de aproximación al ser y a los valores, otras formas de conocimiento y de “sensibilidad conectiva” que existen al lado de la ciencia. Abarcará una panorámica amplia del complejísimo proceso humano que llamamos cultura, una de cuyas



componentes fundamentales es la cognitiva. Los pensadores de los tipos 2 y 3 son, en definitiva, aquellos filósofos que reflexionan *acerca de* la ciencia.

4. Un distanciamiento todavía mayor permitirá estudiar comparativamente las grandes tradiciones culturales, incluida la científica, sin comprometerse con ninguna, y atendiendo especialmente a la dimensión axiológica de cada tradición, a sus valores nucleares. Sería este, a mi modo de ver, el posicionamiento del último Feyerabend.

Y es que tanto la ciencia –como gran empresa global– como las ciencias particulares presuponen una fidelidad a determinadas asunciones axiológicas, metodológicas e incluso ontológicas que, en principio, el filósofo no tiene por qué hacer suyas. La filosofía posee un núcleo valorativo que sólo en parte coincide con el de la ciencia, por más que la parte coincidente sea extremadamente importante, al gravitar en torno al valor “búsqueda del conocimiento” (o de la verdad, se piense lo que se piense acerca de la naturaleza de ésta). Precisamente una de las principales tareas de una filosofía no entendida como *ancilla scientiae* consiste en indagar acerca de la coherencia y de la pertinencia del edificio axiológico completo, así como de las grandes apuestas metafísicas que fundamentan sea a la ciencia en general, sea a una rama particular de ella.

Es posible que la tendencia de los científicos a confrontarse críticamente con el tipo de sensibilidad epistémica característica del filosofar responda a que ellos dan por sentado que la actividad que desarrollan constituye una fase (en sentido histórico, incluso) más avanzada que las “especulaciones no observacionales” de los filósofos. Pero, por una parte, la exploración conjetural es una etapa por la que necesariamente hay que pasar para alumbrar hipótesis científicas (Popper). La actividad constructora de imágenes coherentes del mundo es fundamental en el ser humano, y se halla integrada en su “pulsión cognitiva”, jugando un papel extremadamente importante en toda aproximación al conocimiento; diríamos que constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para su logro. Pienso, por lo demás, que tal actividad está en la base de la noción de *paradigma* recuperada por Thomas Kuhn.

Por otra parte, cabe alimentar las más serias dudas sobre el esquema simplista que identifica la suma de los incrementos cognitivos generados en las distintas áreas científicas con el incremento (a todas luces, mucho menor) del *conocimiento humano integrado*, coherente por tanto, de cara a lo cual tiene un enorme peso negativo el fraccionamiento de la ciencia, debido al desarrollo, gigantesco pero escasamente interconectado, de las áreas especializadas, por otra parte incontables. Y por lo demás, hay que reconocer que una “ciencia de todo” (o del Todo) es impensable. Ahora bien, en lo que fallan por igual relativistas y cientifistas es en su dificultad para admitir la complejidad del conocimiento en sí. Pues no es sólo que éste se divida en multitud de campos que, de algún modo, reflejan el rostro múltiple del mundo: es que en el conocimiento mismo existen sin duda *distintos niveles*. Ya que cabe perfectamente concebir distintos grados de integración, o de “percepción de coherencia”, en aquello que, en un principio, se conoce únicamente por parcelas; lo que puede explicar el hecho de que con frecuencia el hallarse en posesión (individual o corporativamente) de una gran masa de conocimientos parciales resulte compatible con una tremenda ignorancia global.

No creo que se pueda minimizar la importancia de este último dato, por lo demás hartamente conocido. Ahora bien, una de las tareas irremplazables de la filosofía es justamente la de constituir un ámbito integrador del conocimiento. Pues tengo para mí que uno de los rasgos esenciales del filosofar es el holismo del enfoque cognitivo que la caracteriza, holismo que necesariamente implica la *no especialización* (verdadera) de ningún filósofo digno de tal nombre, si es que por especialización se entiende una compartimentación del saber (y, más aun, del “querer saber”) que lleve a desinteresarse por todo cuanto queda fuera del compartimento sobre el que uno se enfoca. Y es que si –como decía hace un momento– no es creíble que llegue a haber una “ciencia del Todo”, la instauración de una “filosofía de lo particular” no lo es mucho más. Ciencia y filosofía se revelan, pues, radicalmente complementarias. Y al mismo tiempo, se da entre ellas ese antagonismo y esa mutua recursividad que Edgar

Morin ha destacado como la clave de toda realidad compleja y de todo conocimiento que responda a ella.<sup>1</sup>

## I. 2. La Tierra, objeto científico y foco filosófico

La Tierra no es, ni ha sido nunca, un objeto neutro para el hombre. Origen de la materia de su cuerpo y destino último de ésta, los vaivenes que ha experimentado la imagen percibida (e interiorizada) de un objeto tal han sido quizá sus propios vaivenes, los del sujeto. De simple ámbito o “territorio” exterior en el que éste desarrolla su vida, la Tierra pasó a ser planeta, cuerpo celeste (un elemento más, en suma, de aquello, el cielo, que desde tiempo inmemorial se venía definiendo por oposición a ella); de centro del universo se mudó en satélite del Sol; y hoy se tiene tendencia a verla como un sistema en delicado equilibrio, susceptible de ser gravemente alterado por la acción del hombre, siendo así que hasta hace muy poco se la consideraba invulnerable, y por supuesto un sumidero sin fondo.

Objeto polémico en toda época, incluida la nuestra, hasta su estatus de *objeto* ha sido y es controvertido, señalándose por un lado que siendo la Tierra el ámbito fundamental de la experiencia común, no es percibida verdaderamente como un objeto<sup>2</sup>, y proponiéndola por otro como *sujeto*, o subrayando al menos que su especialísima relación con el ser humano hace de ella, y para éste, “algo más”. Y si es cierto que la primera objeción puede darse por finiquitada, una vez que la humanidad ha contemplado ya la imagen del globo bajo la perspectiva en que aparece desde el espacio exterior, se diría que este mismo suceso histórico ha fortalecido la segunda.

---

<sup>1</sup> Morin, E., *La Méthode*, tomos 1 a 4, Le Seuil, París, 1977-1991.

<sup>2</sup> Ver Ortega y Gasset, J. (1940), *Ideas y creencias*, Alianza / Revista de Occidente, Madrid, 1997, pp. 44-46.

Veamos por qué. La visión de conjunto de nuestro planeta alcanzada en la década de los sesenta, fue, antes que nada, una *experiencia sintética colectiva* del más alto contenido estético y, por ende, filosófico.<sup>3</sup> Lo fue, en primer lugar, para los astronautas que accedieron directamente a la experiencia visual en cuestión, los cuales han aportado expresivos testimonios de cómo vivieron aquellos instantes sin precedentes en los que la totalidad de cuanto es de importancia vital para el hombre se presentaba literalmente ante ellos bajo la forma de una esfera de espectacular y rara belleza. Lo fue, en segundo lugar, para el ciudadano de a pie, a quien la “foto” de su planeta conmovió más, seguramente, de lo que muchos esperaban (y la bandera en que la imagen global de la Tierra se ha convertido desde entonces para el movimiento ecológico, da prueba de ello). Y lo fue también (*last but not least*) para los científicos. Pues ¿cómo, si no, cabe interpretar la sorprendente coincidencia en el tiempo de la “revolución científica” de la tectónica de placas, la emisión por J.E. Lovelock de la *hipótesis Gaia*<sup>4</sup>, y las primeras imágenes de la Tierra desde el espacio? Quizás algún filósofo evocará, en un caso así, el célebre *Zeitgeist*, pero –sin tomar posición al respecto– yo haría pasar delante la verosímil incidencia, más o menos subliminal, de unas imágenes que *llamaban a la síntesis*, y en las que la unidad orgánica del planeta –explícita en la hipótesis Gaia, y sugerida, en cuanto que se propone un *sistema*, en la tectónica global– se desplegaba, en aquella ocasión, como una *evidencia estética* en el sentido más hondo del término.

Lo que eclosionó, para el conjunto de la humanidad, en el momento en que la Tierra fue vista por primera vez como una unidad real –más allá de las pobres representaciones a que estábamos acostumbrados, fuesen globos escolares o mapamundis– fue indudablemente un *símbolo*. Bien sé que este término y concepto es sumamente equívoco; reconociéndolo, y con la promesa de ocuparme –aunque sea lateralmente– del tema, insisto en la idea de que la imagen fotográfica de la Tierra,

---

<sup>3</sup> Hasta el punto que Goethe la habría considerado, sin duda, el mejor ejemplo de ese *Urphänomen* que postulaba Ver J. Naydler (ed.), *Goethe y la ciencia*, Siruela, Madrid, 2002.

<sup>4</sup> Lovelock, J. “Gaia as seen through the atmosphere” en *Atmospheric Environment*, 6, 1972, pp. 579-580.

dada a conocer con ocasión de los primeros viajes espaciales (y especialmente durante el desarrollo del programa *Apolo* de exploración lunar), fue percibida por el público como un símbolo de la Naturaleza Viva dotado de extraordinaria fuerza. Y el hecho es que desde entonces –contando ya con esa imagen– la relación afectiva e intelectual con la Tierra ha cambiado en alguna medida. Quizás este no haya sido el caso para los científicos (aunque tampoco estoy seguro), pero sí que lo ha sido para muchísima gente. Sectores amplios del movimiento ecológico, e incluso una parte significativa de la sociedad, tienden ahora a proyectar (o a *captar*) rasgos de sujeto en la Tierra / Naturaleza, y buena muestra de ello la proporcionan tanto la propuesta de un *Contrato Natural* complementario del Contrato Social, que propone Michel Serres<sup>5</sup>, como el “juramento por Gaia” que, a semejanza del hipocrático –cuyo beneficiario es el sujeto humano individual–, han planteado recientemente Edgar Morin y otros intelectuales.<sup>6</sup>

Como *visión de conjunto* (en sentido literal, puesto que se trataba, en efecto, de contemplar algo como un todo) que removía estratos profundos del psiquismo humano, la experiencia *imaginal* de finales de los sesenta fue “no analítica”. Diríamos incluso que fue una experiencia sintética y poética, que se trató de una experiencia típicamente *romántica*... Y es que, para la humanidad, su propio planeta ocupa una posición, cultural y psicológica, sumamente especial. Tengo para mí que se sitúa “allí donde se cruzan los caminos” de las tradiciones científica clásica y romántica, por lo que cualquier consideración de semejante objeto que persiga una real profundidad está obligada, sin escapatoria posible, a transitar por ambos territorios. En mi opinión, esta peculiar posición se encuentra en la base del *excepcionalismo* que ha sido postulado para la geología por no pocos filósofos y científicos que se han ocupado de dicha disciplina en términos comparativos con las demás ciencias. Los filósofos de la geología mismos han tendido a subrayar este rasgo de unas diferencias acusadas, presentes históricamente y persistentes en el tiempo, entre las actitudes epistemológicas, las facultades cognoscitivas más valoradas, y la actitud general de los

---

<sup>5</sup> Ver Serres, M., *Le Contrat Naturel*, Flammarion, París, 1992.

<sup>6</sup> Ver Bony, E., “Un Serment pour Gaïa” en *Science Frontières*, nº 60 (febrero 2001).

cultivadores de las “ciencias duras” clásicas (físicos, químicos y matemáticos), por un lado, y los geólogos por otro. Tradicionalmente se hablaba también de una *excepcionalidad de objeto*, derivada del hecho de enfocarse la geología sobre un objeto único, la Tierra, en lugar de sobre una clase o categoría de objetos. Esta excepcionalidad, de la que se hizo partícipe igualmente a la geografía (Schaefer, 1953), es cuestionada hoy por la extensión en curso de la geología, que pasa a ser vista como la ciencia de los planetas de tipo terrestre (*geología planetaria*). No obstante, tal generalización es todavía imperfecta a causa de la singularidad física y bio-ecológica de la Tierra que ponen de relieve los estudios de los demás cuerpos planetarios (exclusivamente del sistema solar, conviene subrayarlo).

Pero lo que define el excepcionalismo geológico es mucho más que la singularidad del “objeto Tierra”, llamada, casi con seguridad, a esfumarse cuando se posea una información mayor y más detallada de los planetas extrasolares. Como señalaban varios de los autores cuyas opiniones recogía la obra colectiva *The Fabric of Geology*<sup>7</sup>, publicada a mediados de los sesenta, la geología clásica –en contraste con lo que ocurre en física– no tiene apenas *leyes*, e incluso las así denominadas son más bien “principios” (como el *principio de superposición de estratos*, de Steno) que nacen de aplicar las leyes de la física (ciencia que da cuenta de un nivel de realidad infra-geológico) en un contexto temporal. Pues la geología es radicalmente *histórica*, se diría que desde siempre, incluso desde su “prehistoria”, desde mucho antes de constituirse como ciencia; decir “geología” es decir “tiempo”, como recuerda Gould, quien encabezó su obra de historiografía y filosofía de la geología, *La flecha del tiempo*, con un célebre párrafo del naturalista inglés del siglo XIX, George P. Scrope.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> C.C. Albritton Jr. (ed.), Geological Society of America, Freeman, Cooper & Company, Stanford (California, USA), 1963; trad. esp.: *Filosofía de la Geología*, Cía. Ed. Continental, México, 1970.

<sup>8</sup> “La idea rectora, presente en todas nuestras investigaciones y que acompaña a todas las observaciones recientes, el sonido que todo estudiante de la Naturaleza parece escuchar como un eco en todas las obras de ésta es: ¡Tiempo! ¡Tiempo! ¡Tiempo!” (G. P. Scrope, 1827, en: Gould, S.J., *Time’s Arrow. Myth and Metaphor in the Discovery of Geological*

Y si bien la problemática –más metafórico-arquetipal que física, como sugieren el título y el contenido de la citada obra de Gould– de la linealidad o la ciclicidad del tiempo, está muy presente en geología, al final la irreversibilidad –como *flecha*, o más bien como *espiral*, combinación de ciclo y flujo irreversible– se acaba imponiendo y acaba generando “historia” y “narración”, en vez de “legalidad atemporal” cuya aplicación explica cualquier hecho.

La tradicionalmente débil presencia de las matemáticas en el edificio disciplinar de la geología es otro dato ineludible de cara a entender la “excepcionalidad geológica”. Ciertamente que materias tales como la geofísica y la cristalografía no son nada sin matemáticas, cierto también que la moderna geotectónica se ha dotado de un aparato matemático, pero los grandes procesos geológicos no son matematizables, o sólo lo son –imperfectamente– unos modelos idealizados de ellos, que la realidad desborda. Y lo que se impone entonces, como alternativa, es la *imagen* –estática o, mejor, dinámica–, la “gestaltización” de las concepciones geológicas. Es lo que señala, por ejemplo, W.H. Bradley cuando dice:

...en el sentido más literal [*la imaginación*] es el poder de crear imágenes mentales, y como el geólogo únicamente puede observar partes de los rasgos que estudia y como la información de que dispone siempre es parcial (construye principalmente mapas geológicos con el fin de reducir los grandes rasgos a una escala conveniente y así lograr integrar las partes en el todo), entonces lo esencial es que sea capaz de enfocar, en tres dimensiones y en perspectiva, los procesos que aun continúan operando y que le ayudarán a reconstruir los acontecimientos del pasado. En realidad, lo mejor de su imaginación le permite representar en su mente los procesos que han operado a través del tiempo —una especie de visión en movimiento.<sup>9</sup>

---

*Time*, Harvard Univ. Press, 1987; trad. esp.: *La flecha del tiempo*, Alianza, Madrid, 1992, p. 8).

<sup>9</sup> Bradley, W.H., “Leyes geológicas” en C.C. Albritton Jr. (ed.), *op. cit.*, pp. 29-30.

Una marcada intuición sistémica, o hasta una cierta inclinación organicista –a situar claramente dentro de la tradición romántica–, se observa, además, en varios textos de los que integran la ya clásica recopilación que comentamos. Así, en el de D.B. McIntyre (“James Hutton y la Filosofía de la Geología”<sup>10</sup>), que no oculta su simpatía por el geo-organicismo del gran geólogo escocés del XVIII, reconocido antecedente de Lovelock; en el de A.F. Hagner (“Aspectos filosóficos de las ciencias geológicas”<sup>11</sup>), que apela tempranamente (1961) al sistemismo y al emergentismo como posibles claves de la singularidad y complejidad del dominio geológico, en donde “hay muchas cosas que no pueden ser comprimidas en una fórmula y que solamente pueden ser descritas”, y que llega a plantear que la concepción organísmica de la naturaleza, de von Bertalanffy y Whitehead, es especialmente relevante en geología. Por su parte, V.E. McKelvey (“La geología como el estudio de experimentos naturales complejos”<sup>12</sup>) defiende un peculiar perspectivismo metodológico basado en la toma en consideración de caminos inductivo-perceptivos múltiples que se revelan con frecuencia complementarios (“la parábola de los ciegos y el elefante”), frente al modelo absolutista de quienes creen tener acceso al *ojo matemático de Dios*.

El histórico excepcionalismo de la geología es reconocido ampliamente, pero en cuanto a su valoración las opiniones divergen, y quizás predominan las negativas. Es ilustrativo al respecto un artículo de L.G. Corretgé aparecido hace poco en la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*.<sup>13</sup> Desde la constatación de la implantación de la tecnociencia en la sociedad actual –en relación estrecha con la desvalorización del saber entendido como búsqueda de la verdad, y su sustitución en el vértice de la pirámide sociológica por una capacidad tecnológica valiosa ante todo como valor de mercado–, el autor se alarma porque “[*si bien*] es cierto que la geología históricamente

---

<sup>10</sup> en C.C. Albritton Jr. (ed.), *op. cit.*, pp. 11-23.

<sup>11</sup> *ibid.*, pp. 25-38.

<sup>12</sup> *ibid.*, pp. 95-101.

<sup>13</sup> Corretgé, L.G., “En las entrañas del postmodernismo: las crisis de las ciencias geológicas”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.2, 2000, 119-129.



representó una especie de tensión entre mitos y experiencia, entre lo pasado y lo real, y que gran parte de las disciplinas geológicas no pueden eludir los elementos intuitivos, discursivos e imaginativos en su desarrollo, conservando todavía la frescura que les proporciona la especulación más allá del apoyo verificable del método riguroso, el empecinamiento en el carácter excepcional de las Ciencias Geológicas es, no obstante, muy peligroso, y si bien pudo justificarse en épocas pasadas, es imprudente defenderlo en la actualidad, salvo que queramos alejarnos de las restantes ciencias.”

Apreciando la lúcida presentación que el autor hace de la situación actual de las ciencias en general y de la geología en particular, presentación que llama a la apertura de un debate que, de hecho, se esboza ya en las preguntas planteadas al final del artículo, pienso no obstante que flota en el texto alguna confusión en relación a la superación del famoso excepcionalismo geológico: ¿supone la evolución observada hacia una integración de la geología en las Ciencias del Medio Ambiente una “normalización” de la ciencia clásica de la Tierra como tecnociencia? En el artículo se da por hecho. Pero ¿es acaso *postmoderna* –en el sentido de Lyotard y Echeverría, asumido en el artículo, que identifica *grosso modo* lo postmoderno con lo tecnocientífico– la preocupación por el medio ambiente, la preocupación -o conciencia- ecológica? Permítaseme dudar. Porque si, como es obvio, el giro tecnocientífico implica un “antropismo” irrestricto, la elevación de lo prometeico-fáustico a la categoría de principio máximo, ¿cómo va a ser coherente con tal principio la exigencia de una limitación de (o de estrictas condiciones puestas a) la actividad *performante* y consumista del ser humano, que le viene impuesta, además, por un ámbito de lo Real que lo engloba y lo supera? Que se dijera, por ejemplo, que el trabajo altamente especializado de numerosos geólogos en la prospección y explotación de yacimientos de hidrocarburos forma parte del proceso de *normalización tecnocientífica* de la geología, sería irrecusable; pero que eso mismo se deduzca de los lazos cada vez más estrechos que la ligan a la noción de medio ambiente, no parece tan lógico. No lo parece, porque los conceptos de medio ambiente y de ecología, junto con las sensibilidades a que se asocian, no son ni postmodernos /

tecnocientíficos ni modernos / ilustrados: es en la tradición cultural romántica <sup>14</sup> donde dichos conceptos y sensibilidades hunden sus raíces. Yo diría que al tender a integrarse, o a asociarse estrechamente, con unas nuevas Ciencias del Medio Ambiente en proceso avanzado de constitución, la geología no se normaliza tecnocientíficamente, sino que más bien retorna a su *lugar natural*, que es el estudio de Gea, el sistema cósmico que propició el nacimiento, persistencia y despliegue de la vida y de la humanidad. Esto podría explicar la presencia espontánea de numerosas referencias a la heterodoxa teoría de Gaia en los libros de texto de geología y medio ambiente (Anguita & Arsuaga, 2000).

Mi insistencia en que la aproximación científica a la Tierra posee una raíz doble: clásica o ilustrada (objetiva, analítica) y romántica (imaginal, sintético-holística) puede disgustar, sobre todo en la medida en que se perciben ambas tradiciones como antagónicas y que sólo se valora positivamente la primera de ellas. Por mi parte, estoy convencido de la profunda complementariedad (que no excluye el antagonismo) de ambas corrientes; y el que hoy vivamos una fuerte ofensiva de los partidarios de la valoración exclusiva de lo disociativo, lo inesencial / instrumental y lo *performante* no significa que hayan abandonado el campo los que ponen el acento en el superior valor de lo integrador / armonizador, de la búsqueda de la verdad (incluso si no es manipulable) y del significado (incluso si conlleva apertura a la intuición, y algo menos de acción frenética). Pero sería insincero si rehusara reconocer que este planteamiento tiene, al menos, un lado preocupante: el relacionado con la financiación a corto plazo de unas disciplinas que, no siendo tan prometeicas como otras, suscitan menos entusiasmo y hasta tienen cierto aire de aguafiestas. Es posible que haya que esperar cincuenta años, a que avance todavía más el cambio climático que está en marcha, para que los valores sociales e institucionales cambien y, con ellos, las prioridades en la distribución de apoyos económicos.

---

<sup>14</sup> Incluyendo, naturalmente, en ella el prerromanticismo de un Rousseau.

### I. 3. El interés de una filosofía de la geología

En última instancia, el excepcionalismo de la geología está ligado a la dificultad de adaptar la investigación y las concepciones geológicas al modelo único que suministra supuestamente la física. Lo que está en juego es, a mi modo de ver, la tensión entre una visión monista de la ciencia, al menos en cuanto al macroparadigma de fondo (es curioso observar que en español se habla de “filosofía de *la* ciencia”), y otra pluralista, acaso implícita en la fórmula francesa consagrada: *philosophie des sciences*.

Con esta reflexión como telón de fondo, resumiré en cinco puntos, a continuación, el muy particular interés que presenta la geología -así como sus actuales “sucesoras plurales”, las ciencias de la Tierra y del medio ambiente- para la filosofía de la ciencia:

1. La geología constituye un caso excepcional entre las ciencias naturales en lo que se refiere a la dificultad, y consiguiente tardanza, en establecer un primer paradigma científico claro en su propio campo específico. Además la historia de la geología suministra un ejemplo sin parangón de la recuperación de una hipótesis marginalizada (la *deriva continental*) como punto de partida de una nueva teorización que pasa a convertirse en paradigmática (la *tectónica de placas*).
2. Este área de conocimiento protagoniza una “búsqueda de identidad” -es decir, de definición y delimitación de campo- que tiene, sin exageración, algo de dramático. Dicha búsqueda se refleja en la preferencia actual por la denominación de “ciencias de la Tierra” sobre la de “geología”, y se pone de manifiesto en los tanteos orientados a fijar de una vez por todas tanto su objeto de estudio como su fisonomía paradigmática: se trata, o bien de estudiar el sistema Tierra, reconocido como el *referencial ecológico fundamental* (que inevitablemente posee, en cuanto tal, una fortísima carga axiológica y simbólica), o bien de considerar que su verdadero campo lo constituyen los

objetos planetarios en general, de los que la Tierra no es sino un caso particular especialmente accesible. Notemos que estas dos orientaciones no tienen por qué excluirse, aunque sí exigen, en todo caso, una articulación cuidadosa.

3. La geología, muy especialmente, centra nuestra atención sobre la importancia que el universo imaginal-metafórico tiene *también* en ciencia. Las *imágenes de la Tierra* han jugado históricamente, y siguen jugando, un importante papel, a diferencia de lo que sucede en otras ciencias como la física. Una cuestión abierta desde hace mucho, para la que no sirven respuestas miméticas, es si la total matematización constituye un horizonte posible y *deseable* en geología. Porque otra posibilidad es que haya que explorar, en esta disciplina, otros modos de “formalización” menos abstractos y más *gestálticos*.
4. Las ciencias de la Tierra representan, hoy por hoy, una auténtica encrucijada de problemáticas científicas. Tales ciencias configuran un territorio radicalmente interdisciplinario, en el que desde el *tiempo profundo* hasta la *autoorganización* a gran escala, pasando por la comprensión en profundidad de la *naturaleza de la vida*, y su relación con las *estructuras disipativas*, se hallan presentes muchos de los temas que centran la reflexión científico-filosófica en el actual cambio de milenio.
5. La concepción paradigmática de la Tierra como un *sistema integrado* está teniendo *ya* grandes repercusiones en el dominio de la razón práctica, de cara a la tan demandada construcción de una *ética ecológica*.

Ante una panorámica de tal riqueza, no es de extrañar que se hayan alzado voces reivindicando la total pertinencia de una filosofía de la geología.<sup>15</sup> Por lo demás, los puntos aquí planteados piden algunos comentarios y ampliaciones. El primero nos

---

<sup>15</sup> Ver, por ejemplo: C.C. Albritton, Jr. (ed.), *op. cit.*; Gould, S.J., *La flecha del tiempo*, *op. cit.*; Hallam, A. (1983), *Grandes controversias geológicas*, Labor, Barcelona, 1985.

obliga a profundizar en la noción de *paradigma*, que conecta con ciertos campos y enfoques –tradiciones platónica y neoplatónica, psicología de la *Gestalt* de entronque fenomenológico, etc.– que la filosofía tradicional de la ciencia no ha considerado dignos de atención. Nos orienta asimismo hacia el importante tema de las *tradiciones culturales y científicas*, territorio mucho menos explorado de lo que cabría esperar habida cuenta del papel jugado por ellas en la generación de la “carga histórica” de los términos y los conceptos, carga que condiciona fuertemente la receptividad ante las nuevas teorías. Una cuestión que, según creo, Kuhn no llegó a tratar es el posible papel significativo de algunas “tesis olvidadas” (que se sostuvieron en el marco de corrientes científicas o filosóficas que fueron, en algún momento, derrotadas, pero que no desaparecieron sino que solamente se marginalizaron) en la ebullición que precede y acompaña a las revoluciones científicas; cuestión ésta que podría añadir una componente de recursividad a la cada vez más reconocida no linealidad del progreso de la ciencia.

El punto 2 pone sobre la mesa la cuestión de la fundamentación ontológica de las ciencias. ¿Cuál es el criterio ontológico –que no excluye, sino que más bien reclama, una vertiente fenomenológica– que *funda* una ciencia básica y que mantiene, a través del tiempo, la fisonomía y la unidad de ésta? ¿Se echa en falta ese criterio, o está quizá poco definido, o acaso ha permanecido siempre implícito, en el caso particular de la geología?

El punto 3 es seguramente el más peliagudo, ya que implica cuestionar la necesidad *universal* de la formalización matemática. Se trata de un tema de la mayor importancia, que concierne directamente a la cuestión de la naturaleza del conocimiento científico. ¿Para poder llamar “científico” a un modo de aproximación a la realidad, es preciso ceñirse *siempre* al “esqueleto” de las regularidades? Me parece que es dejar demasiado terreno a la filosofía pura... Hago notar que el trabajo con metáforas e imágenes, próximas siempre a las intuiciones gestálticas –de carácter sintético– que están en la base de la noción de paradigma, ha rendido *hasta el presente* frutos muy apreciables en geología global. Sin que, por supuesto, tal constatación

implique valorar menos el papel de las matemáticas en numerosos aspectos del trabajo geológico en los que son insustituibles.

El punto 4 recoge uno de los aspectos positivos que presenta la actual pluralización de las “ciencias de la Tierra”, un aspecto que puede -paradójicamente- contribuir a que llegue a recuperarse una cierta unidad en el conjunto que forman. Se trata de que *nuestro planeta aparece como el laboratorio privilegiado de la complejidad*. El “lugar cósmico de la vida y de la humanidad”, esta esfera –visualmente fascinante, y ni siquiera tan grande– en la que los astronautas constatan de golpe que “está todo” (lo vitalmente relevante), tiene que constituir por fuerza un gran desafío epistemológico.

Por otra parte, el desarrollo de la termodinámica de sistemas lejos del equilibrio –una disciplina que se ha revelado fundamental para el estudio riguroso de la complejidad– ha conducido ya a unos primeros resultados cargados de consecuencias para las ciencias, y la imagen, de la Tierra.

El último punto, el 5, resulta imposible de eludir, ya que si algo “se fue para no volver” es la concepción de una ciencia axiológicamente aséptica y éticamente neutral. Ante todo porque las apuestas metafísicas que la fundamentan, implican valoraciones -positivas o negativas- de numerosos conceptos, llenas de repercusiones en el plano epistemológico. Y luego, porque la apropiación social (y económico-empresarial) de los resultados de la investigación científica es un hecho imposible de ignorar; y las consecuencias de esa apropiación pueden ser (con frecuencia son) tremendamente importantes. Pero es que, además, la “revolución de la percepción de la Tierra” que se ha puesto en marcha no es, ni puede ser, *únicamente* -ya se ha apuntado- una revolución científica. Tiene necesariamente otras componentes, otras raíces, profundas y legítimas. ¿Y cómo no iba a tenerlas, si la Tierra es el *topos* de la vida (de la única conocida, y en todo caso *de la nuestra*) y la ciencia moderna nació apostando, desde Descartes, por la reducción de la vida a no-vida? Es, a fin de cuentas, lo mismo que ha hecho que, de Bergson a Hans Jonas, Feyerabend y Michel Serres, no pocos filósofos

hayan tomado distancias con respecto a esa misma ciencia (que no es “conocimiento cierto” sino “ciencia de este momento”, como recuerda Rescher), negándose a renunciar a “pensar de otra manera” esa noción crucial de *vida* que es, se mire como se mire, *lo único que tenemos*, lo único cuya relevancia percibimos de inmediato.

Un tema como el propuesto (“la Tierra, objeto paradigmático”) desborda, ya lo estamos viendo, el marco de la geología *sensu stricto*. Pero tampoco se trata del único caso: no pocos dominios de lo real, que focalizan un intenso interés filosófico, desbordan claramente las disciplinas científicas que se ocupan de ellos. Así, el ya citado fenómeno de la vida, que trata, pero que, en mi opinión, no agota la biología (es posible que lo agote cuando sea capaz de responder clara y convincentemente a la pregunta que Schrödinger –un no-biólogo cuya agudeza interdisciplinaria está fuera de duda– formuló sin rodeos: *¿qué es la vida?*, pero desde luego no antes), o el fenómeno del hombre (que desborda a la antropología), o el fenómeno de la consciencia (que desborda a las neurociencias), o el fenómeno del lenguaje... En cuanto a la Tierra, constituye, como el cuerpo humano (Merleau-Ponty), un campo fenoménico privilegiado, espejo antaño de mitos y deidades, y hoy de paradigmas. Referentes, todos ellos, de *significado* más que de verdad. Aunque cabe preguntarse qué clase de verdad puede prescindir del significado.

#### **I. 4. Plan de la Tesis**

Al abordar la elaboración de una tesis doctoral se está obligado a privilegiar *metódicamente* un punto de vista, *un* contexto formal-simbólico (Cassirer) enraizado en *una* tradición cultural. Asumiendo esta necesidad, serán la geología y las ciencias de la Tierra las que suministren el hilo conductor de la presente tesis. Es esta, pues, una tesis de filosofía de la ciencia, pero más del tercer o cuarto tipo de los señalados en el apartado **I-1**, que del primero o del segundo. Se diría, en efecto, que este “lugar

paradigmático” de los distintos modos de la *vida* –del biológico al existencial– que es la Tierra, no permite un enfoque unidimensional, de suerte que una cierta exploración fronteriza me ha resultado, en algún momento, inevitable, como lo ha sido igualmente el alejarme en ocasiones para tomar perspectiva. Semejantes ejercicios pueden parecer arriesgados. Pero ¿no pertenece a la esencia de la filosofía el cultivar una flexibilidad de puntos de vista, e incluso una *mímesis* (K. Jaspers), análoga a la que refleja el mito clásico que mayor conexión tiene con ella, el de Hermes, único dios al que le estaba permitido –y hasta se le exigía– moverse por todos los ámbitos del cosmos mitológico?

Me ha parecido imprescindible un primer capítulo (“Consideraciones filosóficas preliminares”) destinado a centrar la atención sobre algunos temas filosóficos y/o epistemológicos que considero ineludibles para entender la reflexión acerca de la Tierra que propongo. A primera vista, puede dar la impresión de que tales temas son heterogéneos, ya que van de las *tradiciones culturales* a la *complejidad*, pasando por los *paradigmas*, pero creo que en el capítulo se aprecian con claridad los lazos que conectan tales temáticas.

Si la información que proporciona la historia de cualquier disciplina científica, y de cualquier área cultural, es siempre importante (la sensibilidad, y también, con matices distintos, el conocimiento, *devienen...*, cambian sin partir de cero), en el caso de la geología es de todo punto fundamental, ya que para entender nuestra manera actual de “mirar la Tierra” no podemos prescindir de los modos de verla en el pasado, de ese perspectivismo metódico evocado por McKelvey. Es por eso que dos capítulos (el 2 y el 3) están consagrados íntegramente a la historia de la geología, y que los capítulos 4 y 5 contienen distintos apartados de carácter historiográfico. El capítulo 2 (“La interrogación sobre la Tierra, de la Antigüedad a 1780”) se ciñe a lo que sería la *prehistoria* de la geología; pero tan dilatado período es, en nuestro caso, de exploración obligada, pues a lo largo de él se constituyó un acervo de concepciones y, sobre todo, de imágenes de la Tierra, que ha condicionado después, y en buena medida



sigue condicionando, nuestro acceso al conocimiento del planeta que habitamos. Las categorías, no sólo conceptuales sino también *imaginables*, que nos permiten “pensar” la Tierra y hasta “contemplarla” como realidad presente y como entidad cambiante, se fueron constituyendo paulatinamente en las especulaciones “filosóficas” de alta densidad imaginativa y en los tanteos explicativos que se focalizaron sobre ella a lo largo de numerosos siglos.

En cuanto al capítulo 3 (“La etapa inmadura de la geología científica, 1780-1960”), en él asistimos a una serie de grandes controversias, de debates apasionados, que enmarcaron el nacimiento y acompañaron el desarrollo de la geología, entendida ya como aproximación rigurosa, verdaderamente científica, a la comprensión de nuestro planeta (su constitución, origen, dinámica, etc.) y de sus regiones o zonas, a distintas escalas. El carácter históricamente polémico del “objeto Tierra” es un dato indiscutible que, siguiendo la concepción de Kuhn sobre lo que distingue a las “ciencias maduras” de las que no lo son, se ha considerado como una prueba de la inmadurez de la geología durante todo ese lapso, de casi doscientos años, en el que las demás ciencias de la naturaleza ya habían alcanzado la madurez, al contar, todas ellas, con paradigmas claros, por más que los mismos estuvieran destinados a ser sustituidos ulteriormente. Sin negar esto, ya que es difícil cuestionar que, durante toda esa larga etapa, la geología procedía “por apuesta y tanteo” sin contar con una idea-guía integradora lo bastante consolidada, hago notar que la Tierra sigue siendo (incluso después de haberse asentado un modelo paradigmático de su dinámica global: la tectónica de placas) una entidad extremadamente polémica... ¿No será que la Tierra *es vital* para el ser humano, y que ello basta y sobra para explicar su polemismo insuperable?

Los capítulos 4 y 5 se centran en dos visiones paradigmáticas de la Tierra que en la actualidad cuentan mucho. La primera de ellas, que constituye el tema del capítulo 4, no es otra que el llamado “paradigma geotectónico”, el modelo geodinámico basado en las placas tectónicas. Este sería, según varios historiadores-filósofos de la geología, de los que acaso el más conocido sea Antony Hallam, el primer paradigma –rigurosamente reconocible como tal– de la aproximación científica a la Tierra como

objeto global.<sup>16</sup> La segunda de tales visiones, la *hipótesis* –o teoría– *de Gaia*, emitida por James E. Lovelock con el apoyo inmediato de Lynn Margulis, tiene hoy por hoy, a nivel sociológico, una influencia considerable, apreciándose por lo demás últimamente un cierto desbloqueo en lo que se refiere a la discusión abierta de la propuesta que constituye, en las publicaciones y los foros científicos. En tanto que recuperación del geo-organicismo de Hutton y la *Naturphilosophie*, es un ejemplo nítido de la recursividad de un *tema* –en el sentido holtoniano de “noción axial”– en la historia del pensamiento científico. De todos modos, conviene recordar que, a menor escala temporal (unas cuantas décadas en lugar de siglos), detectamos otra recursividad paradigmática en geología, en el retorno del moviismo bajo la nueva forma de tectónica de placas.

Los títulos de estos dos capítulos tratan de sintetizar sus respectivos contenidos. Y si el del capítulo 4 (“La revolución científica de la tectónica de placas”) no precisa de comentarios, siendo, como son, ampliamente conocidas las propuestas de Thomas Kuhn, el del 5 (“Revolución en la percepción de la Tierra: la hipótesis Gaia”) sí que los demanda: más que poner en marcha una revolución científica en el sentido de Kuhn, lo que ha hecho la “Gaia” de Lovelock es desencadenar un *clic gestáltico* en la sociedad, catalizar, si se quiere, una revolución en la manera de percibir la Tierra el ciudadano común.

La eventual articulación de las dos geo-revoluciones producidas (eso sí, a muy distintos niveles y ritmos) en el último tercio del siglo XX, constituye el tema principal del capítulo 6, titulado “Gaia y Tártaro”). Se defiende en esta tesis la plena compatibilidad de los paradigmas geotectónico y gaiano, y de esa compatibilidad de fondo surge naturalmente la propuesta de un programa de investigación del *sistema Tierra*, entendido como constituido por las geosferas más la biosfera. Otras concepciones de dicho sistema que se han propuesto, son revisadas en el último capítulo, que recoge también algunas reflexiones propias sobre la verosímil

---

<sup>16</sup> Ver Hallam, A. (1973), *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*, Labor, Barcelona, 1989.

fundamentación sistémica de las ciencias, con aplicación específica al caso de la geología.

La tesis finaliza con un breve apartado de conclusiones, seguido de un Epílogo que contiene una sucinta reflexión sobre las razones que me han llevado a asumir, como hilo conductor de fondo, una perspectiva filosófica que no coincide, de hecho, con ninguna de las dos, la de inspiración neopositivista y la próxima a la crítica sociológica de la actividad científica, que inspiran la mayoría de los trabajos de filosofía de la ciencia que se publican en nuestro país.

## Capítulo 1. CONSIDERACIONES FILOSÓFICAS PRELIMINARES

### 1. 1. *Justificación del capítulo*

En este capítulo se tocan algunos temas filosóficos y epistemológicos bastante generales que he considerado de tratamiento obligado para enmarcar esta tesis doctoral, incluido el recorrido que contiene por la sorprendente galería de visiones / concepciones de la Tierra. Se trata de suscitar una serie de reflexiones preparatorias del ejercicio, a la vez conceptual e *imaginal*, que exige toda visión que se quiera integradora de un objeto tan omnipresente y tan singular como lo es el planeta de la humanidad y de la única vida conocida hasta el momento.

El título y el subtítulo de la presente tesis centran ya las cuestiones principales: la Tierra, por su relación especialísima con el hombre, obliga de entrada a profundizar en determinados temas epistemológicos básicos. No estamos ante un mundo de abstracciones, y tampoco ante uno de leyes generales mediante las cuales ordenar las respuestas que suministra la naturaleza en el interrogatorio a que se la somete desde la época de Galileo. La Tierra es el ámbito exterior inmediato de nuestra experiencia, ella nos circunda *sensiblemente*, tal como circundaba (y nutría, y amenazaba) al “primitivo” y al hombre antiguo. Era –y sigue siendo para nosotros, aunque nuestras supercivilizadas anteojeeras nos lo hagan olvidar a veces– su *oikós*, su hogar; y como tal, el ser humano la percibía y la entendía. O, como tal, la mitificaba, lo que no deja de ser un modo de entendimiento consecuente con un contacto tan estrecho –tan íntimo, podríamos decir– que impide la perspectiva objetivadora. Lógico es, pues, que en lo tocante a la Tierra

como un todo, cualquier enfoque teórico se halle condicionado por esta circunstancia originaria.

Cuanto se acaba de decir justifica que el primer apartado temático del capítulo se refiera a las “tradiciones culturales”, en tanto que ineludibles marcos de nuestras actitudes cognitivas, científicas o no. Considero que este tema tiene, en términos generales, mucha mayor importancia epistemológica de la que habitualmente se le concede, y que en todo caso se impone con especial fuerza cuando el objeto de conocimiento es precisamente la Tierra, ya que si hay algo ancestral es la relación humanidad-Tierra.

El siguiente apartado se titula precisamente “La ciencia y la Tierra” porque de lo que se trata es, más que de constatar la existencia de una ciencia de la Tierra, de encontrar un encaje satisfactorio entre la una y la otra. Aproximación científica a la Tierra, sí, pero ¿basta, ha bastado históricamente, con proclamar la intención de llevarla a cabo? ¿Qué tipo de actitud científica es la adecuada? ¿Admite el estudio de la Tierra el modelo general que proporciona fundamentalmente la física? En todo caso, la Tierra, como objeto de estudio racional, focaliza un impresionante nudo de cuestiones epistemológicas, metodológicas y ontológicas.

Esto último subraya la pertinencia de ahondar en la temática de los “paradigmas”, popularizada a partir de la obra de Thomas Kuhn, lo que se hace a continuación. Los paradigmas no pueden, en mi opinión, ser plenamente entendidos si se pretende reducirlos a matrices conceptuales, sino solamente admitiendo que recogen “filtros” y “amplificadores” perceptual-cognitivos heredados, en gran parte, de tradiciones culturales que pueden ser antiquísimas. Es por eso, sin duda, que las *visiones paradigmáticas* de la Tierra (como teorías telúricas o como imágenes sintéticas) tienen una presencia tan contundente a todo lo largo de la historia de la geología, tal como se verá en los siguientes capítulos.

El presente capítulo se termina con una incursión en un campo temático cuya vigencia innegable corre, en este caso, pareja con su importancia real. Se trata del tema de la “complejidad”, la cual, una vez definida con el necesario rigor, se

revela imprescindible para aproximarse de manera coherente al concepto de *sistema autoorganizado*, el cual es, a su vez, una clave de primer orden para la comprensión de nuestro planeta y sus procesos dinámicos, si bien, por razones de espacio y de oportunidad, este último tema –que exige un desarrollo amplio– será tratado posteriormente.

He considerado conveniente complementar este primer capítulo con dos breves Anexos. El primero (“La *Gestalttheorie*”) está dedicado al contenido y orígenes históricos de una escuela de psicología, la de la *Gestalt* o de la Forma, que no sólo posee fuertes componentes epistemológicas (que tan importante la hicieron, como se sabe, para Thomas Kuhn), sino que presenta además –en opinión, entre otros, de von Bertalanffy– significativos elementos de convergencia con la Teoría General de Sistemas.

En el segundo Anexo (“Las matemáticas de lo complejo”) se presentan dos conceptos: el de *atractor* y el de *objeto fractal*, así como una teoría: la de las *catástrofes*, que numerosos autores consideran de manejo obligado para aproximarse a la formalización matemática de lo que hasta hace poco se consideraba informalizable: la *complejidad*, que ante todo caracteriza lo viviente y que es asimismo inseparable de numerosos aspectos de la ciencias de la Tierra.

## 1. 2. Tradiciones culturales

### 1. 2. 1. Tradiciones y valores

Dice Feyerabend que “el mundo no nos es dado directamente, sino que tenemos que aprehenderlo a través de las tradiciones”.<sup>1</sup> Creo que tiene razón.

Por mi parte, entiendo por *tradicón cultural* toda corriente de pensamiento y sensibilidad dotada de continuidad temporal, a escala de varias (o incluso muchas) generaciones. Toda tradición contiene un núcleo identitario, que algunos autores (por ejemplo, Larry Laudan<sup>2</sup>) consideran metafísico-ontológico y metodológico. Incluso asumiendo esta concepción como punto de partida, pienso que este núcleo encierra otro –como el núcleo terrestre externo encierra también otro, el núcleo interno– de carácter axiológico, es decir constituido por *valores* o *sensibilidades valorativas*.

El notabilísimo éxito instrumental de la ciencia (incomprensible, por lo demás, de no ser ésta una vía efectiva de aproximación a las estructuras de la realidad) basta para explicar el importante desarrollo de la filosofía de la ciencia en el siglo XX, así como el hecho de haber centrado dicha rama filosófica una larga serie de debates fundamentales. Semejante hegemonía no puede, sin embargo, ocultar el hecho de que la ciencia no es la única “forma simbólica del espíritu” (Cassirer), o dicho en otros términos, que no es la única gran tradición espiritual-cultural de la humanidad. Pienso –sea dicho de paso– que buena parte de las agrias polémicas que rodean a Feyerabend provienen de un malentendido en cuanto a la ubicación de este pensador, explicable a su vez por la espectacular evolución de sus puntos de vista: el último Feyerabend no sería ya, a mi modo de ver, un “filósofo de la

---

<sup>1</sup> Feyerabend, P.K., *La ciencia en una sociedad libre*, 1ª par. (“Razón y práctica”), Siglo XXI, Madrid, 1982, p. 35.

<sup>2</sup> Laudan, L., *El progreso y sus problemas*, Ediciones Encuentro, Madrid, 1986. Laudan se refiere, en esta obra, a las “tradiciones de investigación”.

ciencia”, sino más bien un “filósofo de las tradiciones culturales en general”, la ciencia entre ellas. El ensayo “Razón y práctica”, especialmente, incluido en *La ciencia en una sociedad libre*, constituye una notable aproximación al tema general de las múltiples tradiciones de la humanidad –tema que pone en primer plano diversas cuestiones de gran interés, como la diferencia radical entre *observación* (externa) y *participación* (interna), etc.– y en él, sobre todo, baso mi interpretación de cuál acabó siendo la intención principal del filósofo austriaco. Encuentro, por mi parte, la postura de Feyerabend claramente distinguible del relativismo vulgar.

Todos los seres vivos necesitan llevar a cabo determinadas actividades, que son expresión, en conjunto, de su dinámica vital. Se diría que es ahí donde se sitúa el trasfondo ontológico del “mundo de los valores”.<sup>3</sup> Desde esta perspectiva, la propuesta de Javier Echeverría de considerarlos como funciones<sup>4</sup> –expresión, por tanto, de una dinámica cualitativa que siempre se halla en vías de realización, y que nunca está plenamente realizada– podría admitir una lectura ontologizante.

Es evidente, por lo demás, que en -y a través del- ser humano, la “complejidad de lo viviente” alcanza cotas cualitativamente superiores. La opinión que aquí expongo, referente al papel que juegan los valores en el seno de las grandes tradiciones espirituales de la humanidad, toma en consideración el *idealismo crítico* de Cassirer, para quien el espíritu (es decir, la consciencia, ámbito irreductible de toda experiencia) realiza una actividad constructiva esencial, a través del desarrollo de muy distintos modos de sensibilidad y formalización

---

<sup>3</sup> ¿O quizás todavía más lejos? Porque si admitimos, con pensadores como Whitehead, D’Espagnat, Zubiri y otros, que *el cosmos es puro dinamicismo* (y no que simplemente “lo tiene”), entonces la posibilidad de alcanzar una realización plena de cualquier dinámica que sea esencial para una configuración cósmica (*sistémica*) concreta, como el propio ser humano, bastaría para fundar los “valores” de esa configuración. El hombre, ser intencional y racional, es el único ente que *reconoce* y *nombra* sus valores, pero eso no significa que el whiteheadiano *self-enjoyment* (*Process and Reality*) no pueda fundamentar, incluso fuera del ámbito humano (p. ej., en el mundo animal), “algo” de la misma naturaleza esencial del valor.

<sup>4</sup> Ver Echeverría, J., *Ciencia y valores*, Destino, Barcelona, 2002.



(siendo ambas dimensiones inseparables) que él denomina *formas simbólicas*, con el enfoque científico como una de tales formas. Para Cassirer las formas simbólicas fundamentales se despliegan en los dominios mítico-religioso, artístico y científico, conservando autonomía un cuarto dominio de carácter lingüístico.<sup>5</sup>

Los enfoques romántico y cassireriano de la mitología –de hecho, no tan distantes entre sí– guardan relación con la visión aquí expuesta del mundo de los valores: si todo valor se funda en algún *telos* de arraigo ineludiblemente vital, y si esas disposiciones teleológicas básicas son las que, a fin de cuentas, determinan las orientaciones humanas (junto con las tensiones que llevan aparejadas), parece entonces perfectamente normal que tanto los valores esenciales como sus sensibilidades fundadoras hayan sido “mitificados”, en el sentido de *haber sido representados sintéticamente por vía imaginal, y desplegados poéticamente en estilo narrativo*, en distintos lugares y épocas.

Como todo el mundo sabe, las narraciones mitológicas escenifican, de multitud de formas, confrontaciones y luchas (entre otras muchas cosas). Vale decir que despliegan la misma conflictividad que, desde siempre, se asocia a los valores. Pues numerosos son los filósofos que han notado que éstos aparecen polarizados sistemáticamente en pares valor – disvalor, tratándose por tanto de un rasgo *dicotómico* que les es inherente.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Ver Cassirer, E., *Filosofía de las formas simbólicas*, 3 vols., Fondo de Cultura Económica, México, 1971-1972.

<sup>6</sup> Dice Javier Echeverría a este respecto: “La mayoría de los filósofos de los valores han coincidido en subrayar lo que muchos de ellos llaman una “propiedad de los valores”: su polaridad.(...) Cualquier ser humano puede estar a favor de intentar potenciar los valores positivos y hacer desaparecer los disvalores (...) Sin embargo, existe un problema mayor: la oposición entre sistemas de valores, y no únicamente entre valores singulares. En este último caso es cuando surgen los *conflictos de valores*, para cuya resolución no existe una regla tan sencilla. Si unos agentes guían sus acciones en base a un determinado sistema de valores y otros agentes actúan en función de un sistema de valores opuesto al anterior, aunque sea parcialmente, estamos en una situación comparable a la inconmensurabilidad kuhniana. Parafraseando a Kuhn, cabría decir que esos dos agentes *viven en esferas axiológicas distintas*”. (Echeverría, J., *op. cit.*, pp. 104-106).

El tema de las relaciones entre tradiciones y valores es sumamente complejo. Yo diría que, en principio, toda gran tradición cultural -y asimismo, a una escala más reducida, toda tradición de investigación- constituye o bien una vía histórica de optimización de un *valor nuclear*, o bien una vía de armonización de un sistema de valores. Pero conviene señalar que, a semejanza de lo observado por Larry Laudan en lo que se refiere a la relación entre *teorías* y *tradiciones de investigación* <sup>7</sup>, en la realidad las cosas ocurren de manera todavía más complicada, de modo que una tradición puede, por ejemplo, acabar por ser infiel a los valores que inicialmente la nucleaban; y en tal caso hay que ver si éstos no son adoptados por alguna otra tradición, que toma el relevo en cuanto a encargarse de promoverlos.

Pese a la avalancha de críticas procedentes del campo de la sociología de la ciencia, desde el cual se tiende a considerar a los valores científicos típicos como constructos sociales, numerosos autores contemporáneos<sup>8</sup> siguen pensando que lo específico de la ciencia es maximizar la realización de unos ciertos valores que serían precisamente los cognitivos, si bien -claro está- no la de *todos los valores humanos*. Por lo demás, maximizar no quiere decir monopolizar, y aparte de la conocida objeción de Feyerabend, de que pueden existir otras vías cognitivas aparte de la científica, se podría considerar la posibilidad de que todo valor profundamente anclado en nosotros, de los considerados no cognitivos (como por ejemplo, la aspiración a la plenitud de la experiencia afectiva), cuente con una faceta cognitiva (aunque no en el “modo conceptual”), desde el momento que se halla orientado a incrementar la conexión del sujeto, *entendido esencialmente como ser vivo*, con su entorno experiencial, con *su mundo*. Este punto de vista encuentra fuerte apoyo en la *filosofía de lo viviente* de Hans Jonas.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Laudan, L., *op. cit.*, pp. 131-132.

<sup>8</sup> Por ejemplo, Evandro Agazzi. Ver, de este autor, *El bien, el mal y la ciencia*, Tecnos, Madrid, 1996.

<sup>9</sup> Ver Jonas, H., *El principio vida*, Trotta, Madrid, 2000.

Dicho esto, conviene aclarar que la dimensión cognitiva que, según acabo de apuntar, podría hallarse implícita en algunos valores extracientíficos no relativiza ni disminuye la orientación explícitamente cognitiva de los valores científicos clásicos, tales como los de coherencia, objetividad, etc.

En consonancia con autores como Agazzi, Frondizi y Queraltó, soy de la opinión de que todo valor posee una *carga afectiva* de raíz ineludiblemente vital, que le constituye como tal valor, sin que sean excepción los valores cognitivos.<sup>10</sup> Por eso mismo, no creo que pueda bastar con una aproximación formalista a los valores, ya que cualquier formalización deja intacto el contenido, y éste, en el caso que nos ocupa, se me aparece como absolutamente esencial. Incluso una identificación de los valores con conceptos la encuentro demasiado limitada: que los valores puedan ser conceptualizados sigue sin agotar su contenido ineludiblemente experiencial y cualitativo, que nos remite a un terreno “emocionalmente fértil” que no es el de la racionalidad logicista o clásica.<sup>11</sup>

### 1. 2. 2. De la inconmensurabilidad al choque de tradiciones

El *raciovitalismo*, la concepción defendida por Ortega según la cual el mismo impulso que orienta al ser humano a buscar la realización de ciertos valores –que vive como tales– es lo que hizo nacer la racionalidad, permite por una parte

---

<sup>10</sup> De ahí, justamente, el raciovitalismo de Ortega.

<sup>11</sup> El enfoque de los valores que defiendo aquí, diverge bastante –soy plenamente consciente de ello– de las teorizaciones axiológicas últimamente más en boga. Yo no negaría, por ejemplo, que numerosos valores se constituyan socialmente, pero tendería a cuestionar que todos los valores así constituidos sean *valores auténticos para el sujeto al que son propuestos* (o impuestos). Pues es, para mí, evidente que sin un sujeto tenso hacia la plenitud existencial no hay “valores que valgan”, y el término mismo de “valor” carece totalmente de sentido. Es desde esta asunción como puedo yo entender la afirmación de Echeverría de que sin *argumento* (o “agente”), las *funciones axiológicas* no dan lugar a valores; si bien me siento muy ajeno a su doble negativa a identificar “agente” con “sujeto” y a abordar la cuestión de la naturaleza última y las raíces del valor (ver Echeverría, J., *op. cit.*).

entender mejor la postura de Feyerabend, y por otra dar cuenta del fenómeno de la *incommensurabilidad*, señalado por Kuhn<sup>12</sup> y emparentado con el aun más llamativo de la *conflictividad inter-tradiciones*.

Por lo que se refiere a lo primero, una lectura atenta de los alegatos de Feyerabend nos lleva a captar la preocupación de dicho autor por el eventual cegado de vías de expresión y realización de valores humanos importantes, al ser aniquiladas numerosas tradiciones no científicas (e incluso algunas científicas, marginalizadas no siempre con razón) por la macro-tradición dominante. Se podrá objetar que no es más razonable la supervivencia de todas las tradiciones culturales que la de todas las especies, siendo así que la extinción es un fenómeno natural y hasta necesario. Esta argumentación me parece correcta en principio, pero creo que se debería llevar más lejos la analogía tradiciones-especies<sup>13</sup>, y entender la postura de Feyerabend como similar a la del ecologista que reclama una limitación drástica de los efectos devastadores del “rodillo antropotecnológico” sobre la biodiversidad terrestre.

En lo que se refiere a la cuestión de la incommensurabilidad, salvadas algunas objeciones bastante obvias que levanta su versión kuhniana inicial, muy radical (según la cual, en cuanto uno adopta la óptica de un determinado paradigma, queda imposibilitado para entender cualesquier concepción basada en un paradigma distinto), parece claro que al haber no sólo *conceptos* sino también *valores* en la ficha de identidad de los paradigmas, y al tener los valores un ineludible enraizamiento afectivo, la reacción inevitablemente emotiva (tanto a nivel individual como corporativo) de quienes, desde la identificación con un determinado paradigma, enjuician otro (o las concepciones y teorías que enmarca), pone en marcha reflejos defensivos que desencadenan, a su vez, un cierto “cierre cognitivo” (fenómeno éste bien conocido tanto de los psicólogos como del común

---

<sup>12</sup> Kuhn, T., *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975, cap. XII (“La resolución de las revoluciones”).

<sup>13</sup> Al fin y al cabo, se trata, en uno y otro caso, de entidades históricas y en evolución.

de los mortales) que obstaculiza seriamente el desarrollo de cualquier proceso interpretativo, el cual, para poder “fluir”, tendría que pasar por la asunción – aunque fuese a título provisional y “mimético”<sup>14</sup>– de unas posiciones *axiológicamente cargadas* que repugna asumir. Creo que esta puede ser una explicación válida tanto de la inconmensurabilidad como de los choques entre macro-tradiciones; y me parece aplicable igualmente a los casos de inconmensurabilidad (o, lo que viene a ser lo mismo, de incompreensión “muy difícil de superar”) que se dan entre teorías científicas o entre tradiciones de investigación. Una sugerencia es, pues, que importa mucho, a la hora de enjuiciar la historia de las disciplinas científicas, no echar en saco roto el papel de los condicionantes perceptivos heredados de las tradiciones –por lo demás, seguro que plurales– en que tales disciplinas hunden sus raíces.

### **1. 2. 3. Del reconocimiento de la perspectiva a la superación de la inconmensurabilidad**

Dos cuestiones: la de las perspectivas epistemológicas y la de la inconmensurabilidad, presentan el mayor interés para nosotros. Como pronto veremos en detalle, la historia de la geología esta profundamente marcada por incompreensiones radicales entre puntos de vista excluyentes. En cierto modo, podría afirmarse que, en el pasado, más que revoluciones científicas y cambios paradigmáticos, lo que hubo en la ciencia de la Tierra fueron sustituciones de unas “guerras dicotómicas” –feroces, muchas veces– por otras. De hecho, así ha sido

---

<sup>14</sup> Tratar de mimetizar o “mimar” subjetivamente el proceso espiritual-mental que condujo a otro pensador (perteneciente a otro contexto histórico, a otra tradición cultural, etc.) a sus propias conclusiones es una recomendación en la que insisten filósofos tan distintos como Alexandre Koyré y Karl Jaspers, y que encuentro especialmente pertinente a la hora de tratar la problemática kuhniana de los cambios paradigmáticos y de la inconmensurabilidad.

hasta que la revolución científica prototípica de la tectónica de placas ha asentado por primera vez un paradigma inequívoco<sup>15</sup> de la dinámica planetaria global.

Está bien claro que el caso específico de inconmensurabilidad que representan las teorías científicas rivales no es el único posible: está también la supuesta imposibilidad (por “no hablar el mismo lenguaje”) de comprender la visión del mundo de otra época histórica o la que asume otra cultura. Pero precisamente porque, en el caso intracientífico y más aun en el intradisciplinar (el de la comunidad de los geólogos, por ejemplo), las dos escuelas en pugna –o sus representantes– cuentan en principio con las mismas categorías y con análogos recursos racionales, el asunto se vuelve más intrigante. El tema es, a la vez, familiar y complejo; mas quizá la familiaridad del asunto sea aquí especialmente tramposa, ya que nos incita a intentar zanjarlo apelando a una categoría explicativa única (por ejemplo, a una explicación exclusivamente sociológica), lo que supone entrar en el mismo juego que propone la actitud que se trata de explicar y, si es posible, de superar. La solución pasa por reconocer, de entrada, la importancia epistémica de los *puntos de vista*; la captó perfectamente uno de los fundadores del racionalismo (en versión no cartesiana), Leibniz, quien precisamente concibió –en parte, al menos– su teoría de las mónadas para dar al problema una solución onto-metafísica, y la entendió con gran hondura Ortega, cuyo ensayo *El tema de nuestro tiempo* contiene, a mi modo de ver, algunas de las páginas más clarificadoras sobre esta cuestión que jamás se hayan escrito. Nuestro catedrático de filosofía dice, por ejemplo:

Cuando se interpone una retícula en una corriente, deja pasar unas cosas y detiene otras; se diría que las selecciona, pero no que las deforma. Esta es la función del sujeto, del ser viviente, ante la realidad cósmica que le circunda. Ni se deja traspasar, sin más ni más, por ella, como le acontecería al imaginario ente racional creado por las definiciones racionalistas, ni finge tampoco una realidad totalmente ilusoria. Su función es claramente selectiva: de la infinidad de los elementos integrantes de la realidad, el

---

<sup>15</sup> Desde el momento que incluye esa dimensión de generalizado consenso que tanto subraya Kuhn.

individuo –aparato receptor– deja pasar un cierto número de ellos, cuya forma y contenido coinciden con las mallas de su retícula sensible. Las demás cosas –fenómenos, hechos, verdades– se quedan fuera, son ignoradas, no percibidas.”<sup>16</sup>

Lo único que, en mi opinión, le sobra a este párrafo es la afirmación de que el sujeto no hace *más que* seleccionar la realidad, sin deformarla. ¿Nunca? Parece evidente que el sujeto tiene tendencia *también* a proyectar (prejuicios, creencias, preferencias...) y por tanto a deformar. Encuentro el perspectivismo de Ortega fundamentalmente válido –y anticipador, además, del papel del paradigma en Kuhn– con tal que no abra la puerta a una nueva idealización del sujeto: la que, lamentablemente, parece sugerir el modelo de un “inocente” cedazo, incapaz de deformar aquello que selecciona. Comparto, por lo demás, la opinión de Ortega de que “la perspectiva es una de las componentes de la realidad”, y de que “cada vida es un punto de vista sobre el universo”, con su correlato de que “cada individuo – persona, pueblo, época– es un órgano insustituible para la conquista de la verdad”.<sup>17</sup> Y es que el perspectivismo, a diferencia del relativismo –con el que no puede confundirse en modo alguno– es realista; lo que hace que la *verdad* y su búsqueda tengan, para un perspectivista, pleno sentido. Pero marca, al mismo tiempo, distancias importantes con el absolutismo característico de la tradición más racionalista de la Modernidad, al asumir que sólo desde el (o mejor, desde *cada*) sujeto se percibe (*algún aspecto de*) la realidad. El camino a la verdad aparece, pues, como un complejo proceso iterativo –y, en el mejor de los casos, asintótico– entre distintos puntos de vista, cada uno de los cuales privilegia una faceta diferente. Pero sobre todo, exige abrirse a un *pluralismo epistemológico* (Feyerabend, desde 1975; León Olivé, 2000) que tome en consideración las enseñanzas de la historia de las ciencias –en plural– y del pensamiento.

---

<sup>16</sup> Ortega y Gasset, J., *El tema de nuestro tiempo*, cap. X (“La doctrina del punto de vista”), Espasa-Calpe, col. Austral, Madrid, 1995, p. 132.

<sup>17</sup> *ibid.*, pp. 133-137.

La crítica que hace Ortega del absolutismo racionalista –negador, en último extremo, de la función epistémica de los puntos de vista, frente a la cual propone, como utópica perspectiva, el acceso analítico-formal al “ojo de Dios”– me parece más interesante que entregarse a teorizar en exceso sobre una inconmensurabilidad que, de hecho, *siempre puede ser superada* (en principio, todos podemos desarrollar una inteligencia interpretativa que, como el mismo Kuhn ha mostrado, va más allá de la simple capacidad traductora<sup>18</sup>) *si es que realmente se desea*. El filósofo mexicano León Olivé ha subrayado recientemente la importancia epistemológica del diálogo –de un diálogo al mismo tiempo receptivo y crítico– entre puntos de vista cognitivos e incluso culturales distintos.<sup>19</sup> Ahora bien, en mi opinión los obstáculos más fuertes para *desear realmente* comprender otro punto de vista (incluso teniendo bien claro que “comprender” no quiere decir “admitir”) suele introducirlos el compromiso radicalizado –que ni siquiera parece ser consciente la mayoría de las veces– del pensador con los paradigmas, metafísica y axiológicamente fundamentados, que nuclea *su* tradición científica o cultural.

### **1. 3. La ciencia y la Tierra**

#### **1. 3. 1. ¿Búsqueda de la verdad o control de las apariencias?**

El gran dilema de la ciencia moderna es si tiene sentido perseverar en el ideal de la búsqueda clásica del conocimiento, de la persecución de la verdad acerca del ser y su configuración empírica en seres múltiples, o si, por el contrario, hay que abandonar ese ideal, por utópico, sustituyéndolo por la comprobadamente posible

---

<sup>18</sup> Kuhn, T.S., “Comensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad” en *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Paidós-UAB, Barcelona, 1996.

<sup>19</sup> Ver Olivé, L., *El bien, el mal y la razón*, Paidós, México, 2000.



exploración de un *aparecer* que no nos revela, en el fondo, nada sobre el ser de las cosas, pero que basta para permitir ejercer control sobre ese mismo *aparecer*, un control que implica la posibilidad de operar sobre él. Desde el antecedente de la consideración, por el pastor luterano Osiander<sup>20</sup>, del sistema de Copérnico como “un mero instrumento de cálculo astronómico”, hasta ese nudo crucial que ha sido, y es, la física cuántica, auténtico campo de batalla en el que se enfrentan realistas e instrumentalistas, el dilema en cuestión no ha dejado nunca de estar presente, por más que en determinadas épocas, y en el interior de ciertas disciplinas, haya podido quedar velado por la tendencia a identificar los datos con la realidad. Conviene hacer notar, de paso, que esto último ha ocurrido mucho en geología; y aquí hay que observar que “tierra” es una palabra que connota fuertemente la idea de “realidad” (*tener los pies en la tierra* es una expresión castellana muy ilustrativa). Consiguientemente, un cierto realismo ingenuo ha venido caracterizando la actitud de muchos geólogos que, armados con el instrumento-símbolo profesional del martillo de campo, no han podido nunca dudar que “tocaban tierra”, es decir, una realidad absolutamente indudable. La historia de la geología muestra, no obstante, que no basta con ver y tocar para estar en contacto estrecho con la realidad: la *interpretación* empieza ya, de hecho, en el campo, prosigue en el trabajo estratigráfico y cartográfico, y cobra una importancia muchísimo mayor cuando el científico de la Tierra trata de establecer modelos de escala global.

Procede aquí recordar que la escisión de “las dos geologías”, una centrada en resolver problemas locales y regionales, y otra preocupada ante todo por la escala global, por dar con *la teoría verdadera de la Tierra*, refleja ante todo la divergencia (que tiene mucho que ver con el temperamento individual<sup>21</sup>) entre

---

<sup>20</sup> Autor del prefacio a la 1ª edición (Nuremberg, 1543) de *De Revolutionibus Orbium Caelestium* de Nicolás Copérnico. Dicho prefacio fue introducido sin que conste el acuerdo de Copérnico, que falleció pocas semanas después de aparecer el libro.

<sup>21</sup> Aunque también jueguen un papel factores tales como las tradiciones idiosincrásicas nacionales, como subraya Naomi Oreskes al poner de relieve que, con anterioridad al

quienes prefieren ceñirse a recolectar y manejar datos lo más asépticos que sea posible, y quienes se sienten atraídos por unas instancias modelizadoras del planeta entero y sus procesos dinámicos, que inevitablemente van a contar con componentes especulativos. Y añadiríamos que imaginativos, en atención al fuerte contenido visual -o *imaginal*- de todos los modelos de la Tierra.

Como lo que nos interesa en este trabajo es la Tierra *como realidad global*, habremos de preguntarnos cuál es el origen de la aproximación cognoscitiva a la misma. La respuesta no puede ser sino que la geología global se enraíza, sin la menor duda, en la tradición cosmológica. Para los antiguos, la Tierra y el Cielo formaban un mundo concéntrico único, de modo que aunque las dos regiones poseyeran propiedades completamente distintas, la indagación acerca de la Tierra y cuanto hay en ella no dejaba de formar parte de la cosmología general (aunque la Tierra fuese la parte menos noble del cosmos).<sup>22</sup> Podría pensarse que la radical unificación galileano-newtoniana de las leyes del mundo físico reforzaría el carácter cosmológico del estudio de la Tierra, y en el fondo así fue. Precisamente por eso, las *teorías de la Tierra* fueron consideradas “filosofía geológica”, y ello no sólo en los siglos XVII y XVIII (cuando tantos conflictos con la Iglesia focalizaban) sino –especialmente en determinados países– hasta bien entrado el siglo XX.<sup>23</sup> Sin embargo, dado que los cuerpos celestes, aunque fuesen de la misma naturaleza que la Tierra, pasaron enseguida a ser vistos como objetos

---

triumfo de la tectónica de placas, la gran mayoría de los geólogos norteamericanos se manifestaban extremadamente reservados, cuando no hostiles, hacia cualquier teoría de la Tierra globalista, estando, como lo estaban, muy centrados en el trabajo de campo, la recogida de datos y la modelización regional; y que, al contrario, los geólogos europeos, sobre todo alemanes y franceses, tendían a entusiasmarse con los modelos globales y las *ruling theories*. (Ver Oreskes, N., *The Rejection of Continental Drift*, Oxford University Press, 1999, pp. 126-127).

<sup>22</sup> Recordemos que Aristóteles incluye en *Acerca del cielo* numerosas consideraciones geológicas.

<sup>23</sup> Desde el centramiento, individual y corporativo, en la geología de pequeña y mediana escala, se calificaba a veces (sobre todo en los Estados Unidos) de “filosofía geológica” a *la otra sensibilidad*, la que estaba centrada en elaborar hipótesis globales acerca de la Tierra. Ver Oreskes, N., *op. cit.*

idóneos para verificar la ley newtoniana de la gravitación universal, en tanto que la Tierra (que había dejado de ser el centro del mundo) era reinterpretada como el planeta que constituye nuestro medio vital, es decir, como *aquella parte de la naturaleza* –de acceso, por lo demás, privilegiado– *que desemboca en el hombre*<sup>24</sup>, el resultado ulterior fue la división de las ciencias de la naturaleza en dos grandes grupos. Por un lado, las ciencias matematizadas, fundamentalmente la mecánica celeste y la física; por otro, una serie de disciplinas de indiscutible vocación científica, que se ocupaban de la Tierra o/y del fenómeno-rey que se despliega en ella: la vida orgánica, las cuales no tenían un carácter matemático y atañían al hombre más que las otras.

Llegados aquí, se hace imprescindible tratar de entender en profundidad qué cosa es la ciencia. En su sentido original, “ciencia” (*episteme* en griego) es el conocimiento efectivo que se posee sobre un sector o aspecto de la realidad; es, pues, un conocimiento tenido, con fundamento racional, por verdadero, que se contrapone a la simple opinión (*doxa*). Como el conocimiento de los objetos matemáticos es el único que, desde Platón, se considera cierto según cánones de evidencia que no dependen del contraste empírico (así como tampoco del tiempo ni del sujeto), se tuvo siempre por más fiable el conocimiento acerca del mundo que admite una modelización matemática. La raíz, pues, de la superior valoración de que gozan las *ciencias formalizadas* es platónica, y la observación de que la “poco razonable” eficacia de las matemáticas para dar cuenta del mundo físico, guarda todo su misterio<sup>25</sup>, no hace sino subrayar esta vinculación paradójica del racionalismo formalista con una tradición filosófica de fuerte contenido místico.

Existe, sin embargo, otra explicación nada mística del mayor predicamento de que gozan las ciencias que incorporan un importante aparato matemático:

---

<sup>24</sup> La obra *Les Époques de la Nature*, de Buffon (reedición: Éditions du Muséum, París, 1988), con sus siete épocas geológicas que culminan con la aparición del hombre en la séptima, puede, en este sentido, considerarse paradigmática.

<sup>25</sup> Ver Wigner, E., *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, Bloomington, 1967.

solamente estas ciencias permiten la cuantificación y, a partir de ahí, la predicción de unos resultados que pueden ser objeto de medida. Sólo a partir de ellas puede, por tanto, desarrollarse una *tecnología* fiable, en el sentido, que tan claramente define Evandro Agazzi <sup>26</sup>, de una técnica construida sobre la base del conocimiento científico previo de los efectos que pueden ser alcanzados y de cómo pueden serlo, así como de la magnitud de los mismos.

Está claro que las dos fuentes indicadas del prestigio de las ciencias formalizables no suelen motivar a las mismas personas. De ahí los entusiasmos contradictorios que suscitan, entre, por un lado, pensadores que beben –no siempre con plena consciencia de hacerlo– en fuentes platónicas, y por otro, instrumentalistas de orientación tecnocientífica y público en general.<sup>27</sup>

Pero la *tradición científica* es, a fin de cuentas, aquella vasta corriente de la cultura humana que tiende hacia el objetivo (y valor, al mismo tiempo) de alcanzar un conocimiento cierto de (algún aspecto de) la realidad. *No cuenta con la necesidad de adaptarse a modelos matemáticos como una condición constitutiva previa*. Dicho en otros términos, la deriva formalista de la ciencia moderna – generada a partir de la paradigmaticación primero de la mecánica celeste y luego de la física– no puede considerarse como expresión de un rasgo esencial de la ciencia en sí misma. Sí lo serían, a mi entender, las dos notas clave que propone

---

<sup>26</sup> Ver Agazzi, E., *El bien, el mal y la ciencia*, Tecnos, Madrid, 1996, pp. 99-101.

<sup>27</sup> Coincido plenamente, a este respecto, con la opinión de Agazzi, quien dice lo siguiente:

Parece muy difícil sostener que la ciencia y la tecnología se sitúen tan alto en la estima colectiva a causa de su *racionalidad*, o sea, a causa de un requisito que aparece como algo muy intelectualista y alejado de lo concreto. Sería más correcto afirmar que el gran público aprecia especialmente las ventajas prácticas del desarrollo científico-tecnológico, mientras que un restringido círculo de intelectuales, aunque sin despreciar tales ventajas prácticas, aprecia con más intensidad el aspecto cognoscitivo de la ciencia (y de la misma tecnología), y en particular sus caracteres de objetividad y rigor que se pueden resumir también bajo el término de *racionalidad*. (...)

Pero ¿qué es, en realidad, la razón? (...) En la actitud profunda de la razón humana existe algo de ulterior respecto a la simple capacidad de imaginar intencionalmente lo abstracto: se da la convicción de que *lo inmediato* no es *lo original* y que es necesario sacar a la luz lo que no se ve para comprender y *dar razón* de aquello que se ve. Podemos ciertamente llamar “exigencia del logos” a este requerimiento de comprensión y justificación, e identificar en él el carácter más distintivo de la racionalidad. (*ibid.*, pp. 202-205).

Agazzi, del *rigor* y la *objetividad*.<sup>28</sup> Entiendo por rigor el empeño de mantener una plena coherencia metodológica, lo cual supone una decisión previa sobre qué método se considera más adecuado para ceñir la realidad lo más estrechamente posible. Y por objetividad entiendo la tentativa, asimismo metódica, de eliminar de los datos percibidos (y luego registrados y procesados) todas las componentes subjetivas, todas las *proyecciones*, lo que pasa no sólo por prevenir la conformación inconsciente de la “fisonomía de los datos” a los deseos del investigador, sino también la selección sesgada de los mismos. Suele añadirse la prescripción de evitar la gestación prematura de *inferencias teóricas* a partir de un conjunto reducido de datos.<sup>29</sup>

Es, para mí, evidente que el ideal de objetividad presupone una apuesta metafísica realista que está presente en el corazón mismo de la gran tradición cultural que constituye la ciencia; y el hecho de que, hoy en día, no todos los filósofos de la ciencia estén de acuerdo sobre este particular, no me mueve a cambiar de posición. Personalmente, no creo que el constructivismo sin más matices (pues no todos los constructivismos son no-realistas: ver 1.4.1) ni el intersubjetivismo sean sustitutos convincentes del realismo que –se diga lo que se diga– se percibe claramente en la base de toda actitud científica. Conviene observar que ni siquiera la primera de las dos características señaladas aquí como inseparables de dicha actitud, la del rigor en la persecución de la verdad, se justifica si se mantienen las posiciones indicadas: una buena retórica (incluso eventualmente “formalizada”) también podría, entonces, servir para “hacer

---

<sup>28</sup> *ibid.*, cap. I (“¿Qué es la ciencia?”), pp. 33-46.

<sup>29</sup> Esta prescripción revela un planteamiento inductivista. El método inductivo acabó siendo el más apoyado por la comunidad de los geólogos, en el siglo XIX y primera mitad del XX, por reacción lógica a las *teorías de la Tierra* con grandes componentes especulativas que dominan la historia de la geología entre el siglo XVII y principios del XIX. Trataremos este punto en el siguiente subapartado.

ciencia”, en la medida en que puede generar un consenso amplio y no necesariamente efímero.<sup>30</sup>

En cuanto a los geólogos, y en general los estudiosos de la Tierra, poquísimas dudas caben de que siempre han sido realistas, y no necesariamente ingenuos. Creo que puede sostenerse que la Tierra, a fin de cuentas nuestro medio vital, focaliza una fortísima *intuición de realidad*. Dicha intuición es vivida trivialmente en el trabajo de campo, un “laboratorio” que tiene muy poco de torre de marfil, y se asienta, ya con una clara dimensión filosófica, en las meditaciones que todo geólogo lleva a cabo alguna vez sobre los materiales y procesos inaccesibles del interior de la Tierra (que “están ahí”, se los conozca o no) y sobre los sucesos y entidades (incluso vivas) del *pasado profundo*, cuya existencia tampoco depende de nuestro conocimiento.<sup>31</sup>

Añadiré aquí una reflexión. El enfoque fenoménico kantiano presupone la existencia, tras el fenómeno, de una realidad-en-sí inaccesible al sujeto. La realidad, en cuanto tal, no puede ser racionalmente demostrada, por tanto. De manera que aquél que se niegue a entrar en el juego del no-realismo en alguna de sus modalidades, no tiene más remedio que o bien realizar una asunción metafísica, o bien reconocer su propia intuición de que “lo real es”. Encuentro aquí un gran paralelismo con el célebre teorema de Gödel de la incompletitud de las matemáticas, según el cual siempre existe al menos un axioma que se escapa a

---

<sup>30</sup> Puede ponerse como ejemplo clásico de esto la eficaz retórica desplegada por Charles Lyell para imponer el *uniformitarismo sustantivo* en geología, un tema del que enseguida se va a tratar. Dicha concepción, que mezcla interesadamente los planos metodológico y ontológico, ha persistido durante más de un siglo. Un constructivista social seguramente considerará que este caso confirma sus puntos de vista: para mí es más bien un contraejemplo de lo que cabe considerar buena ciencia.

<sup>31</sup> Es significativo que numerosas ejemplificaciones orientadas a mostrar los límites de la reformulación intersubjetivista del realismo sean geológicas o paleontológicas. Así, el ejemplo de “un diplodocus que *efectivamente* se desplazaba por un cierto paraje natural, hace 250 millones de años, tanto da que el conocimiento de que ocurrió tal cosa lo tenga una sola persona o que se comparta”, propuesto por Ulises Moulines (ver referencia en Olivé, L., *op. cit.*, p. 159).

toda fundamentación racional.<sup>32</sup> Ahora bien, este teorema lógico-matemático se revela capaz de proporcionarle un modelo válido al filósofo de la ciencia, que debería ser capaz de admitir que esta última no puede nunca ser “completa”, desde el momento que la realidad misma no puede demostrarse racionalmente. Pero si se niega o se pone entre paréntesis la noción de realidad, la ciencia se queda sin objeto, *se vacía*, digan lo que digan los instrumentalistas y los idealistas.

Mi respuesta personal, que no espero que todo el mundo comparta, al arduo problema filosófico planteado es que sólo una intuición básica (a semejanza de las “intuiciones axiomáticas primeras”, necesarias según Gödel) puede anclar en el ser de cada uno la *experiencia* de la realidad. Y la completaría expresando mi convicción de que la Tierra focaliza –para nosotros, seres humanos que hemos sido gestados evolutivamente por ella– el paradigma de esa intuición fundadora.<sup>33</sup>

### 1. 3. 2. Cuestiones metodológicas

Durante largo tiempo, se mantuvo la idea de que la imaginación era contraproducente en ciencia. Los *inductivistas puros* defendían la conveniencia de evitar cuidadosamente todo tipo de conjeturas e hipótesis, y limitarse a recolectar pacientemente datos, con la esperanza de que éstos finalmente revelarían la verdad “por sí mismos”. Hoy nadie sostiene ya esta concepción, que el desarrollo de la filosofía de la ciencia en el siglo XX ha dejado inservible.

---

<sup>32</sup> Más precisamente, Gödel estableció, entre 1929 y 1931, que la pretensión de Hilbert de establecer *internamente* la total consistencia de un sistema cualquiera de análisis formal estaba abocada al fracaso, puesto que es posible demostrar justamente lo contrario: que todo sistema lógico-matemático contiene necesariamente algunos axiomas a la vez indemostrables e irrefutables dentro del propio sistema, es decir, axiomas irracionales. Ver, p. ej., Andler, D., “Gödel (Kurt)” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 10, pp. 549-551.

<sup>33</sup> Me da la impresión que en la medida en que el “paradigma Tierra” (el de *la Tierra como sistema*) se comparte, la referida intuición de realidad se comparte igualmente, y se refuerza. Y que en la medida en que no se comparte dicho paradigma (y que quizá se sustituye por otro, como el “paradigma de lo virtual”), esa misma intuición se debilita.

Una característica de la Tierra es mover intensamente la imaginación de los hombres. Y su inmediatez física no aminora lo más mínimo esa potencia inspiradora: análogamente a como “se conoce” a alguien próximo, “pero no totalmente”, la Tierra –nuestro medio vital por excelencia– ha estado siempre aquí, en todo momento la hemos estado pisando, literalmente, pero nunca se ha dejado conocer del todo. Es ahí donde reside el desafío, típicamente *raciovital*, que experimentan quienes se enfocan sobre ella, y que excita enormemente su imaginación.

El caso es que los estudiosos de la Tierra se encontraron con una buena contradicción. Se suponía que como científicos debían desconfiar de la imaginación, fuente inagotable de modelos seductores que, más que nada, extravía el buen juicio. Pero como seres humanos que tenían precisamente la Tierra como objeto de estudio, les resultaba imposible renegar de esa facultad. ¿No ha escrito W.H. Bradley, destacado científico americano de la Tierra, que “un geólogo que no tiene imaginación es tan poco eficiente como el ánade que carece de membranas en sus patas”?<sup>34</sup>

Ahora bien, si la imaginación se ha revelado *siempre* imprescindible para aproximarse a conocer la Tierra, si ni siquiera se ha cuestionado su papel o se la ha desvalorizado, como sí que ha ocurrido en otros contextos disciplinarios, habrá habido por lo menos que limitarla, que *regularla*. Contar con unos PRINCIPIOS REGULADORES<sup>35</sup> de la imaginación –de una imaginación cuya fertilidad se percibía, de entrada, como algo bueno– llegó a ser, pues, esencial para el geólogo.

El *principio de economía*, la famosa “navaja de Ockham”, es el primero y principal de tales principios. Propone, como es sabido, que conocida una causa

---

<sup>34</sup> Bradley, W.H., “Leyes Geológicas” en C.C. Albritton Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, Compañía Editorial Continental, México, 1970, p. 30.

<sup>35</sup> La noción de *principio regulador* (de la razón “en relación a las ideas cosmológicas”) es debida a Kant, que la expone en *Crítica de la Razón Pura*: “Teoría Trascendental de los Elementos”, 2ª parte (“Lógica Trascendental”), división 2ª (“Dialéctica Trascendental”), cap. II, libro 2, secc. 8ª.



explicativa de un fenómeno, no se debe apelar a otras causas, debiendo retenerse únicamente la que se conoce. Está claro que, en este caso, la noción de “causa” comprende implícitamente la de “modelo”, de manera que la regla ockhamiana no debe ceñirse sólo a las causas actuantes sino que hay que extenderla a los patrones de analogía.

Históricamente, la forma principal que ha adoptado el principio de economía en la aproximación científica a la Tierra, es la del *principio de uniformidad* o UNIFORMITARISMO. Éste, avanzado –sin nombrarlo todavía– por Hutton<sup>36</sup> recogiendo una clarísima inspiración aristotélica, fue formulado, dándole casi categoría de “ley”, por Charles Lyell en sus célebres *Principles of Geology*.<sup>37</sup> El subtítulo: “An Attempt to Explain the Former Changes of the Earth’s Surface *by Reference to Causes Now in Operation*”, constituye ya toda una definición de este supuesto principio fundamental de la geología, del que el *corpus* de la obra magna de Lyell no es sino una amplia ilustración. No obstante, el término “uniformitarismo” (*uniformitarianism*) no fue acuñado por Lyell mismo sino por William Whewell, destacado filósofo e historiador de la ciencia, en una reseña de la parte ya publicada de los *Principles* que apareció en 1832.<sup>38</sup>

El *uniformitarismo metodológico* es la versión más débil del principio de uniformidad. En esta primera acepción coincide totalmente con una formulación particularizada del *principio de economía*, y consiste en proponer que: a) es preciso asumir que las leyes de la naturaleza han sido siempre las mismas y no han sufrido variaciones a lo largo de la historia de la Tierra, debiendo darse esto por descontado en todos los estudios sobre el pasado geológico (*uniformidad de ley*); y

---

<sup>36</sup> El subtítulo de la 1ª edición (1785) de la *Theory of the Earth* de Hutton es: “An investigation of *the laws observable* in the composition, dissolution and restauration of land upon the globe”.

<sup>37</sup> Obra en 3 volúmenes, John Murray Publ., Londres, 1830-1833; reedición (facsimil): University of Chicago Press, 1990.

<sup>38</sup> Whewell, W., *Quarterly Review*, 47, 1832, p. 126. De Whewell dice Anthony Hallam que “es el filósofo e historiador de la ciencia más importante, quizá con la excepción de Bacon.” (Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, Labor, Barcelona, 1985, capítulo 2, nota 58).

que, además: b) la única modelización plausible de los procesos experimentados por la Tierra en el pasado la proporciona el presente, lo que hoy podemos observar, de manera que *el presente es la clave del pasado* <sup>39</sup> (*uniformidad de procesos*, o *actualismo*). Parece, pues, evidente que estamos aquí ante una restricción metódica del vuelo de la imaginación en geología, y especialmente en geología histórica, una restricción que se orienta a seleccionar sólo aquellos modelos analógicos que cuentan con verificación empírica (N. Oreskes, *The rejection...*). Como regla metodológica, el uniformitarismo aparece –visto así– como un principio regulador conveniente, *siempre, claro está, que no existan evidencias, o razones poderosas, que exijan prescindir de él*. Esto último suelen olvidarlo los autores dispuestos a salvar *en todo caso* la versión débil del uniformitarismo.

Pero Lyell introdujo, como si se tratara de una consecuencia natural y lógica del *método* uniformitarista, una segunda versión, mucho más fuerte, del principio de uniformidad: un *uniformitarismo ontológico* o *sustantivo*, de acuerdo al cual la naturaleza terrestre se comporta realmente del siguiente modo:

1. Los procesos que afectan al planeta en su totalidad son siempre graduales, nunca catastróficos. Las catástrofes solamente pueden ser locales.
2. En el pasado no han operado jamás procesos distintos a los que se observan en el presente, y éstos nunca lo han hecho con un grado de intensidad distinto (globalmente) al que observamos en la actualidad.
3. No existe ninguna dirección, ninguna “flecha del tiempo”, en los cambios que se operan en la Tierra. Estos sólo pueden ser cíclicos.

Es evidente que se ha pasado aquí de una *metodología* a una *dogmática*. Es posible que Lyell creyera de buena fe que el principio fundamental que proponía

---

<sup>39</sup> Frase que suele atribuirse erróneamente a Lyell, y que es debida en realidad a Archibald Geikie (*The Founders of Geology*, 1897).

equivalía a una *vera causa* en sentido newtoniano<sup>40</sup>, pero si es que realmente lo creía, ello sólo puede denotar un oscurecimiento epistemológico alarmante. Se ha dicho<sup>41</sup> que Lyell trataba de emular a Newton, quien se atuvo estrictamente a las observaciones a la hora de elaborar su Ley, y que se negó a dar entrada a nada que no fuera verificable (la célebre frase “*hypotheses non fingo*”), pero esto pasa por alto que Lyell introdujo, so capa de fidelidad al método empírico *puro*, una hipótesis fortísima que, además (¡y sobre todo!), él no planteaba propiamente como tal, sino como algo incontrovertible cuya no aceptación sólo podía ser debida a “oscurantismo”.<sup>42</sup>

¿Por qué entró Lyell en ese juego? Aparte de la radicalización “anti-catástrofes” que en él había podido provocar la persistencia de un *geobibliismo* que en cada depósito un poco extraño y en cada discordancia estratigráfica veía una prueba del Diluvio Universal, está el deseo, muy humano, de reducir todos los hechos de la naturaleza a “lo familiar” (que es más que reducir lo inobservable a lo observable).<sup>43</sup> Se trataría, en tal caso, de una *trampa de facilidad* en la que el británico habría caído.

Y sin embargo, a mi modo de ver, el uniformitarismo de Lyell encerraba una intuición válida, heredada de Hutton y de la *geotradición* en la que éste se insertaba, pero gravemente alterada en su expresión por el temperamento dogmático y retórico del personaje: la de que la Tierra se mantiene en un estado estacionario (*steady state*) básico, con muy poca –o nula– degradación térmica. Desde luego que Lyell exageraba, como antes Hutton, el alcance de ese estado,

---

<sup>40</sup> Ver Cabezas Olmo, E., *La Tierra, un debate interminable*, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 2002.

<sup>41</sup> *ibid.*, p. 60.

<sup>42</sup> Ver Gould, S.J., *La flecha del tiempo*, Alianza, Madrid, 1992, pp. 123-130.

<sup>43</sup> Ver Hempel, C.G., *Filosofía de la Ciencia Natural*, Alianza, Madrid, 1976, pp. 124-125.

pero hoy se está viendo que hay una parte considerable de verdad en esta concepción.

La imprescindible revisión del confucionismo epistemológico propiciado por Lyell<sup>44</sup> hizo pasar momentáneamente a segundo plano el contenido estrictamente metodológico del uniformitarismo. Afortunadamente, en los últimos años se ha producido una recuperación del interés por los aspectos metodológicos de las ciencias de la Tierra, lo que ha hecho que menudeen los estudios sobre el referido contenido. Mi propia conclusión es que el método uniformitarista responde a un objetivo triple: a) servir de principio regulador de la imaginación geológica, restringiéndola (principio subyacente de *economía*), por oposición a un método hipotético que, con más o menos deriva especulativa, dominaba la historia anterior de la indagación acerca de la Tierra; b) reafirmar la apuesta metodológica por el empirismo (*basarse únicamente en datos observables*) y por la modelización analógica (*el pasado, inobservable, debe ser modelizado a partir del presente*); y c) subrayar la independencia de la geología con respecto a otras ciencias naturales, como la física y la química, desde el momento que aquélla cuenta con un principio específico.

Ahora bien, el consenso sobre el uniformitarismo ha sido muy exagerado por los autores anglosajones que contribuyeron a crear el mito de Lyell como establecedor cuasi exclusivo de la ciencia geológica moderna.<sup>45</sup> La verdad es que no parece que tal consenso haya existido en el siglo XIX y ni siquiera en el XX, cuando la referencia acrítica al “método del actualismo” (nombre más usado en nuestro país que el de uniformitarismo) se había vuelto un lugar común en las facultades de ciencias geológicas. En lugar de semejante consenso, lo que hubo

---

<sup>44</sup> Una revisión, que tiene ya unos cuantos años, en la que han participado, entre otros, M.J.S. Rudwick, S.J. Gould, A. Hallam, los historiadores de la geología franceses y, en España, A. Elena. La misma ha puesto un contrapunto crítico a la anterior exaltación del genio de Lyell.

<sup>45</sup> Con el uniformitarismo como “primer paradigma” de dicha ciencia, como llega a sugerir Kuhn al citar los *Principles* de Lyell como *la obra de referencia* (*La estructura de las revoluciones científicas*, p. 33).

realmente en tiempos de Lyell fue una virulenta controversia entre los uniformitaristas y los llamados (por Whewell<sup>46</sup> y por el propio Lyell) catastrofistas. Estos últimos constituían todo un mundo plural alternativo que dominaba la geología europea continental.<sup>47</sup> Dejando de lado los verdaderos catastrofistas de inspiración bíblica, que no puede negarse que –aunque cada vez más minoritarios– existían, estaba presente una importantísima tradición no uniformitaria, que venía de siglos atrás y que pasó a predominar nuevamente, salvo justamente en Inglaterra (y quizá en España), a finales del siglo XIX. Se trata de la corriente direccionalista, representada en vida de Lyell por el francés Léonce Élie de Beaumont principalmente, y con posterioridad al fallecimiento del británico, por el austriaco Eduard Suess. En lo esencial, esta escuela postulaba una orientación irreversible del tiempo geológico, que vendría dada por el enfriamiento progresivo de la Tierra, y que haría que el carácter cíclico de los procesos, aunque existiera (manifestándose en la repetición periódica de orogenias, por ejemplo), no pudiese ser tan estricto y ahistórico como pretendían Hutton y Lyell. Pero ¿cuál era la posición metodológica de los direccionalistas? ¿En qué se diferenciaba de la de los uniformitaristas? Parece claro que, en el plano metodológico, las divergencias eran grandes. Cabe caracterizar, en este aspecto, al direccionalismo por los rasgos siguientes:

a.- Alta valoración del método hipotético, lo que llevaba a los seguidores de esta corriente a proponer con facilidad modelos globales de la evolución de la Tierra y de su fisonomía estructural (modelos de “las orogenias pentagonales” de Élie de Beaumont, del “intercambio-océanos continentes” de Suess, del origen fundido de la Tierra y su muerte por enfriamiento, etc.).

---

<sup>46</sup> En su artículo citado, en el que acuñó también el término *uniformitarianism*.

<sup>47</sup> O mejor, franco-germano-austriaca, porque la geología española (por lo demás, poco desarrollada) entró pronto en la órbita del uniformitarismo inglés. Ello ocurrió a partir de la traducción de los *Principles* por J. Ezquerro del Bayo, en 1847.

b.- Empirismo afirmado en la importancia concedida a la recolección de datos, pero que quedaba matizado por la obsesión, siempre presente, por corroborar la teoría.<sup>48</sup>

c.- Tendencia a supeditar la geología a la física, reconocida como la ciencia verdaderamente básica, cuyas leyes (únicas *veræ causæ*) eran eminentemente aptas para suministrar los fundamentos de cualquier hipótesis geológica.

Añadiré, entre paréntesis, que la presencia de las dos corrientes geológicas de cuyos aspectos metodológicos se acaba de tratar es tan obvia y tan duradera (se remonta al siglo XVIII, si bien de ambas corrientes se detectan raíces muy anteriores) que llega a resultar evidente para cualquiera que estamos ante dos genuinas *tradiciones geológicas*.<sup>49</sup>

La irrupción de los *geofísicos* como un segundo grupo disciplinar de científicos de la Tierra, claramente diferenciado de los geólogos<sup>50</sup>, añadió lastre al principio en el platillo del direccionalismo. Pero se trataba de un lastre de mala calidad, de un “lastre volátil”, que, no tardando mucho, iba a tener el efecto indeseado de desequilibrar otra vez la balanza del lado contrario, el de los geólogos uniformitaristas. Lord Kelvin, el representante más destacado del nuevo *polo geofísico*, radicalizó enormemente el direccionalismo degradacionista. Gran especialista en termodinámica y teoría del calor, propuso, en las últimas décadas del siglo, una teoría sobre la evolución física de la Tierra de base exclusivamente

---

<sup>48</sup> Si bien este rasgo no caracterizaba sólo a los direccionalistas, sino igualmente a Lyell (como antes a Hutton). Preciso es reconocer que las actitudes falsacionistas tienen una presencia escasa en la historia de la geología.

<sup>49</sup> Naomi Oreskes se acerca a identificarlas del mismo modo que en la presente tesis, pero al centrarse en la diferencia entre los *métodos de trabajo*, no parece finalmente ver lo que es, para mí, fundamental: los contenidos sustantivos opuestos de ambas tradiciones (equilibrio dinámico *versus* degradación térmica). Ver Oreskes, N., *op. cit.*, pp. 278-279.

<sup>50</sup> Con anterioridad a la segunda mitad del siglo XIX ya había habido físicos que se habían ocupado de temas que tenían que ver con la Tierra (p. ej., Fourier hacia 1830), pero nunca de un modo tan sistemático.

termodinámica, que implicaba una edad del globo extremadamente corta (entre 20 y 90 millones de años) que contradecía todos los cálculos basados en el espesor y el ritmo de la sedimentación, aparte de ser incompatible con las exigencias temporales de la evolución biológica. Esta gran tensión interdisciplinar, seguramente la mayor que se ha dado en toda la historia de las ciencias de la Tierra, desembocó en un descrédito de las doctrinas direccionalistas en general, así como (momentáneamente) de la dependencia de la geología con respecto a la física, y en un mayor cierre corporativo del estamento de los geólogos. Ello ocurrió una vez que quedó en evidencia el argumento térmico fuerte de Kelvin, que no contaba con la existencia de la radiactividad como importante fuente suplementaria de calor.<sup>51</sup> En todo caso, quedó muy claro que algo tan básico para concebir de manera lúcida nuestro planeta como lo es la inmensidad de su escala temporal, el *tiempo profundo* de Hutton, habría podido ser postergado si la independencia de la ciencia geológica, que tiene sus propios métodos de trabajo y contempla la realidad a través de sus propios prismas, no se hubiera defendido con el vigor suficiente.

La controversia uniformitarismo-direccionalismo (mejor que “catastrofismo”<sup>52</sup>) no agota el debate metodológico en geología. Los métodos inductivo e hipotético habían estado oponiéndose, de hecho, desde mucho antes de que Lyell publicase sus *Principles* y Élie de Beaumont sus *Notices sur les systèmes de montagnes* (París, 1852). Y, de algún modo, esos dos métodos tradicionales antagónicos tenían sus peculiaridades en el mundo de los geólogos. Los inductivistas no eran sólo aburridos coleccionistas de “datos” tales como minerales, fósiles, fallas o estratos: eran también, muchas veces, personas con una acusada capacidad de sorpresa, hombres a quienes el hallazgo inesperado de, por ejemplo, un dique de

---

<sup>51</sup> Lo que, de paso, muestra que incluso una ciencia como la física es, en cada momento, “ciencia de una determinada época” (Rescher, *Los límites de la ciencia*).

<sup>52</sup> Ya que se ha usado y abusado de la palabra “catastrofismo”. Que, además, llegaba a englobar un direccionalismo perfectamente distinguible y más importante que el catastrofismo propiamente dicho.

cuarzo atravesando las capas del terreno les dejaba literalmente atónitos.<sup>53</sup> Digamos que el asombro acechaba en las excusiones geológicas, más de lo que cualquier referencia neutra al inductivismo permite suponer; un asombro científico que no estaba, finalmente, nada lejos del *asombro filosófico*... Y la constatación de que aquellos primeros geólogos contaban –por supuesto– con categorías mentales previas que les permitían asombrarse, no le resta nada al hecho de que sentían que la realidad les golpeaba en pleno rostro, quebrantando –o al contrario, corroborando llamativamente– sus preconcepciones.

En cuanto a los que seguían el método hipotético, pocas dudas caben de que tendían a especular, incluso mucho. Como en geología –incluida la geología actual–, la falsación sobre la base de un *experimentum crucis* no es fácil, y como además, en el siglo XIX y principios del XX, en la disciplina había mucho individualismo (y ya se sabe que tener razón es mucho más gratificante que estar equivocado), el “corroboracionismo” (buscar a toda costa datos que corroboren) persistió largo tiempo. Y aunque lo que estoy a punto de decir desagradaría profundamente a Popper, lo cierto es que ni siquiera dio siempre los peores resultados: la historia de Wegener y la deriva continental está ahí para dar fe de ello.

Se llegó así a una situación paradójica: sin esas “conjeturas imaginativas y audaces” que Popper mismo había de reivindicar como necesarias muchos años después<sup>54</sup>, la geología se quedaba en una raquítica disciplina localista, útil para las prospecciones pero en modo alguno digna de su nombre, que significa “ciencia de Gea”. Pero entregándose a ellas, el científico de la Tierra corría el riesgo de dejar de serlo y de convertirse en un “geofilósofo” o un “geopoeta”<sup>55</sup>, falto de suficiente contraste con los datos de la realidad, y sobrado de ensimismamiento.

---

<sup>53</sup> Existen muchos relatos de excusiones que muestran que esta era una tónica muy extendida. El ejemplo del dique de cuarzo se refiere concretamente a Hutton. El eminente naturalista se asombraba con frecuencia al encontrarse frente a accidentes geológicos llamativos, y lo manifestaba expresiva y ruidosamente.

<sup>54</sup> Ver Popper, K., *Conjeturas y refutaciones*, Paidós, Buenos Aires, 1965.



No es de extrañar, por tanto, que surgiese una tercera postura metodológica, una curiosa postura, orientada a resolver –o al menos a suavizar– esta paradoja: el *método de las hipótesis de trabajo múltiples*, asentado en la apuesta por un *pluralismo teórico*, que tuvo por principales valedores a los geólogos norteamericanos Thomas C. Chamberlin y G. K. Gilbert. Esta posición, de la que da cuenta cumplidamente Naomi Oreskes<sup>56</sup>, consiste en considerar, de forma sistemática, varias hipótesis explicativas para un mismo dato o conjunto de datos. El geólogo debe confrontar los datos que obtiene con varias teorías, incluso antagónicas, no sólo para seleccionar eventualmente aquélla que mejor se ajusta, sino *sobre todo* motivado por la convicción de que *la verdad puede estar repartida*, al contrario de lo que piensan los que apuestan –con un cierto fanatismo, las más de las veces– por una teoría “explicatodo” (*ruling theorie*). Pues, como dice Oreskes:

La posibilidad de las causas múltiples era especialmente pertinente en geología, teniendo en cuenta que había habido numerosos debates en los que las dos partes tenían razón en lo que afirmaban y estaban, ambas, equivocadas en lo que pretendían negar. Chamberlin era de la opinión de que no había sido así por casualidad: los procesos geológicos pocas veces eran “procesos unitarios explicables por una sola causa simple” [Chamberlin, T.C., “The method of multiple working hypotheses”, *Journal of Geology*, 5, 1897, pp. 837-848].<sup>57</sup>

Este eclecticismo de un sector importante de la geología americana, aparte de reflejar, en opinión de Oreskes, una determinada idiosincrasia local, adelantaba, por un lado, la constatación de la infradeterminación de las teorías científicas, defendida a principios del siglo pasado por Pierre Duhem y algunos años después por W.V. Quine, y por otro, la noción de *complejidad* (ver 1. 5) uno de cuyos campos privilegiados de aplicación es –como hoy estamos empezando a entender–

---

<sup>55</sup> Palabra esta última que H. Hess se aplicó, por cierto, a sí mismo en 1960, al proponer la hipótesis de la extensión del suelo oceánico, que enseguida se reveló correcta.

<sup>56</sup> Oreskes, N., *op. cit.*, pp. 134-138.

<sup>57</sup> *ibid.*, p. 137, incl. nota 83.

la Tierra misma. Pero tenía también su lado negativo: cualquier teoría explicativa global que se defendiera con auténtica convicción había de parecer sospechosa y se tendería a rechazarla, cualesquiera que fuesen los argumentos que la apoyaban. Es esto justamente lo que mejor podría explicar, según Naomi Oreskes, el rechazo frontal que encontró en los Estados Unidos (mucho más que en Europa) la teoría de la deriva, del germano Alfred Wegener, verdadero prototipo de *ruling theory* basada en una concepción ontológica explícita muy fuerte que excluía de raíz todo posible compromiso con las teorías rivales.

Todo este panorama cambió en los años 60, al quedar consagrado el modelo dinámico de la tectónica de placas como *ruling theory* (otros dirían que como *nuevo paradigma*, o quizá como el primero indiscutible) de la ciencia geológica. Y el hecho de contar, al fin, con una hipótesis explicativa global lo suficientemente fiable dio entrada a un método de trabajo *deductivo* aplicable sistemáticamente, pienso que por primera vez en la historia de las concepciones de la Tierra como un todo.

¿Equivalió entonces, para la geología, el triunfo de la tectónica de placas a lo que supuso la entronización del modelo del universo newtoniano, para la física, o la selección natural como principio rector de la evolución de los organismos, para la biología, tal como se ha sugerido? ¿Aportaba la nueva geotectónica el *principio legal* que la geología necesitaba para llegar a ser ciencia “de pleno derecho”? Estas preguntas, presentes en no pocos libros y artículos de filosofía y epistemología de las ciencias de la Tierra, no son inocentes: encubren, de hecho, una idea preconcebida de lo que es y lo que no es ciencia, la idea de que sólo puede ser considerada tal una disciplina que posea una dimensión *nomológica*. Pronto nos ocuparemos de este importante tema.

### 1. 3. 3. Un laboratorio de tiempo

Antes, sin embargo, vamos a enfocarnos sobre un asunto de todo punto ineludible al tratar de la geología y las otras ciencias de la Tierra: el protagonismo del tiempo. El presente subapartado podría titularse también “¿Tiempo en el laboratorio?”, porque si bien la Tierra se presenta, a los ojos del geólogo, como un gigantesco laboratorio en el que se estudia el paso del tiempo, cabe, por otra parte, preguntarse si el *factor tiempo*, a la escala que ella impone, es un parámetro que puede manejarse en un laboratorio de los nuestros.

De todos es sabido que el nacimiento de la geología científica coincide con la apertura de los investigadores de la Tierra a la evidencia de que su objeto de estudio tenía que tener una antigüedad incalculable. Lo más sorprendente es que dicha evidencia no era, en realidad, nueva: algunos filósofos antiguos, como Aristóteles (para quien no sólo los astros dan testimonio de la eternidad del mundo, sino que la misma se vislumbra también en la región terrestre<sup>58</sup>) y los anónimos fundadores de la cultura hindú<sup>59</sup>, ya debieron vivenciarla. Estuvo, no obstante, clamorosamente ausente en el origen de la tradición bíblica, con su mundo de apenas unos pocos milenios. Por qué unos percibieron, ya en los albores de la civilización, un “tiempo profundo”, y otros no, no es fácil saberlo, pero se puede avanzar una idea: la conexión de los diferentes pueblos con la naturaleza no ha sido la misma. Está, en primer lugar, la geografía física: no es igual habitar un lugar marcado por la presencia imponente de altas montañas y de profundos desfiladeros que dejan ver largas secuencias de estratos<sup>60</sup>, que vivir en una región

---

<sup>58</sup> Ver: Aristóteles, *Del cielo / Meteorológicos*, Editorial Gredos, Madrid.

<sup>59</sup> Pues la tradición hindú hace referencia a ciclos terrestres y cósmicos de miles de millones de años. Ver García Cruz, C.M., “La edad de la Tierra y otras cosas por el estilo”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1999 (7.2), pp. 94-101; ver también, del mismo autor, “Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2001 (9.3), pp. 222-234.

<sup>60</sup> Y con frecuencia éstos contienen “restos de animales” o cantos rodados idénticos a los del cercano arroyo... No hay que subestimar el impacto de las observaciones espontáneas que el paisaje geológico *impone* literalmente en algunos lugares.

semidesértica sin grandes accidentes. La naturaleza no “se expresa” igual en todas partes. Existen además rasgos idiosincrásicos que diferencian a las distintas tradiciones culturales. Si una de ellas está muy enfocada en la genealogía del grupo étnico con el que se identifica, es normal que vea el mundo a través de tal prisma, y puede, incluso, llegar a no verlo más que como el marco en que esa genealogía se despliega. Otras actitudes menos etnocéntricas y más abiertas a una interrogación universal, pueden, por el contrario, generar cosmovisiones muy diferentes, en las que la sospecha de que la edad del mundo es inmensa consiga abrirse paso.

En cualquier caso, creo que la sólida convicción a la que llegaron bastante pronto los primeros geólogos de campo sin compromiso bíblico<sup>61</sup>, de que la edad de la Tierra desafía nuestra imaginación, aconseja revisar algunas ideas hoy comunes sobre el escaso valor de la inducción, ideas que son fruto de una filosofía de la ciencia demasiado teoricista, porque tal vez no todos los *mensajes empíricos* de la naturaleza tengan la misma fuerza, sean igual de expresivos. Habría que considerar la posibilidad de que el laboratorio real, el mismo que permite medir las magnitudes de los parámetros físicos por el procedimiento de aislarlos, tenga como efecto no deseado reducir la expresividad de la naturaleza, al descontextualizar –desnaturalizar– cada factor.<sup>62</sup> Esta posibilidad ya se baraja abiertamente, y es fuente de controversia, en relación a los organismos vivos, pero podría ir incluso más allá y concernir también al conocimiento de la Tierra.

La vinculación de la geología con las escalas temporales gigantescas aparece como un auténtico *hecho fundador* de la ciencia –en cuanto tal– de la Tierra, hasta el punto que la adopción, o no, de dichas escalas por las diferentes escuelas en presencia en los primeros tiempos de la geología de vocación científica, ha

---

<sup>61</sup> James Hutton pasa por haber sido el primer geólogo que concibió y defendió el *tiempo profundo*, pero tal cosa no es exacta. Hubo numerosos antecedentes, aunque como semejantes ideas caían bajo la represión eclesiástica, los que las sostenían publicaban poco. Una excepción fue Benoît de Maillet (ver capítulo 2).

<sup>62</sup> Era, de hecho, lo que pensaba Goethe.

quedado como un criterio retrospectivo para estimar su grado de cientificidad (y, de hecho, se constata que los programas de investigación promovidos por aquellas escuelas que negaban, o ponían entre paréntesis, el “tiempo profundo”, no fueron muy lejos<sup>63</sup>).

Pero no se trata sólo (con ser esto de la mayor importancia para nuestra concepción de la naturaleza) de la definitiva constatación de que los procesos geológicos han invertido cantidades inmensas de tiempo en desarrollarse. Se trata también de que ese mismo tiempo es un factor *necesario* para que la mayoría de tales procesos pueda llevarse a cabo. Era lo que intuían los uniformitaristas, encabezados por Hutton y Lyell, cuando decían que ni la elevación de las montañas ni la excavación de enormes cañones, como el del Colorado, precisaban, para su producción, de la ocurrencia de grandes catástrofes, sino sólo de tiempo.<sup>64</sup> Y si, para explicar la fisonomía actual de la superficie de la Tierra, lo más *económico* en la mayoría de los casos es apelar al factor tiempo, sucede también que existen algunos fenómenos telúricos que *solamente el factor tiempo puede explicar satisfactoriamente*. Es el caso de las corrientes de convección del manto terrestre, el fenómeno físico que hace posible la tectónica de placas: las reiteradas afirmaciones de la imposibilidad de la deriva continental que se hacían en tiempos de Wegener, incidían en la rigidez del sustrato, y esa misma rigidez ha sido invocada después como una seria dificultad tanto para la convección como para el movimiento mismo de las placas litosféricas. Para superar el problema, se propuso la existencia de una capa fluida, la *astenosfera*, a una cierta profundidad, sobre la cual se deslizarían las placas, y dentro de cuyos límites (y sólo dentro de ellos) se desarrollaría la convección. Pero esta solución no resulta satisfactoria, y parece que ni siquiera es posible seguir sosteniendo la existencia de la astenosfera. Como alternativa, algunos autores, entre ellos Francisco Anguita<sup>65</sup>, recuerdan que rocas,

---

<sup>63</sup> Así ocurrió, por ejemplo, con el de la escuela neptunista (ver capítulo 3).

<sup>64</sup> Y esto es verdad, con independencia de que alguna vez hayan podido producirse grandes catástrofes, incluso de alcance global.

<sup>65</sup> Ver Anguita, F., “La evolución de la tectónica de placas: el *nuevo* interior de la Tierra” en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1996 (3.3), pp. 137-148.

incluso cristalinas, pueden tener un comportamiento fluente en condiciones de elevada presión y temperatura, *contando necesariamente con un tiempo medido a la escala de decenas de millones de años*. Ahora bien, esto hace pasar a primer plano una diferencia mayor entre la geología y la ciencia modelo por excelencia que es la física: el factor tiempo no se puede llevar al laboratorio, los procesos que exigen *tiempo* para producirse, no pueden “re-producirse”.<sup>66</sup> El tiempo –aquí también– se nos escapa.<sup>67</sup>

#### 1. 3. 4. ¿Leyes geológicas?

En el mundo de la geología, y también fuera de él, se escuchan a menudo voces que hacen alusión a la escasez de leyes geológicas. W.H. Bradley, por ejemplo, se preguntaba a principios de los 60: “¿Está la geología en un estado de inmadurez tal que es incapaz de producir generalizaciones de amplia aplicación, o es que los geólogos han encontrado que, para sus propósitos, las leyes generales son trampas intelectuales? ¿O los geólogos, debido a su materia, razonan en forma algo diferente a los físicos y químicos?”<sup>68</sup>

Estos interrogantes son pertinentes. La cuestión de la *necesidad* de la estructuración nomológica de las ciencias es crucial, y es lógico, además, que se plantee desde una tradición disciplinar que permanece, en buena medida, al margen de dicha estructuración, y no desde la corriente principal de la ciencia que, justamente por contar con un sólido marco nomológico, tiene menos perspectiva para juzgar la cuestión.

---

<sup>66</sup> Pero ¿no será posible, al menos, una modelización informática de tales procesos? Por supuesto que sí, pero esas modelizaciones no están libres de simplificaciones, idealizaciones, etc. *No son la realidad*.

<sup>67</sup> En el bello e inquietante texto cosmogónico que es la *Teogonía* de Hesíodo, existe un conocido pasaje que da que pensar. Para conseguir la castración de Urano (el Cielo) que la fecunda incesantemente, Gaia (la Tierra) establece una alianza con el titán Cronos, cuyo nombre significa “tiempo”.

<sup>68</sup> Bradley, W.H., “Leyes geológicas” en CC. Abritton Jr. (ed.), *op. cit.*, p. 25.

Reconozcamos, de entrada, (1) que las regularidades existen verdaderamente en la naturaleza: se observaron “desde siempre” en astronomía, y los experimentos realizados a partir del surgimiento de la *nuova scienza* revelaron que son numerosas, no sólo “en el cielo” (del que antes se creía que eran exclusivas) sino también “sobre la Tierra”. Pero es que, además, (2) las leyes permiten la contrastación de las hipótesis. Técnicamente puede ser más o menos complicado, pero conceptualmente resulta sencillo verificar si un enunciado universal se cumple o no en un caso concreto. Incluso las leyes probabilísticas permiten tal verificación, dada una muestra lo suficientemente amplia y bien seleccionada de datos. En consecuencia, la falsación es asimismo mucho más factible si una disciplina, referida a un cierto dominio de la naturaleza, cuenta con leyes claras, que si no es el caso.

Por otra parte, (3) las leyes naturales permiten la predicción de resultados, y la consiguiente aplicación del conocimiento científico a la producción de tecnología. Al no ser posible la cuantificación en ausencia de una estructura nomológica matematizada, la obtención de “cantidades de efecto”, o de cambio, precisas, tampoco lo es, con lo que la base de cualquier tecnología queda socavada en la raíz.

Hay otras dos razones que contribuyen a explicar la exigencia, a la vez epistemológica y psico-sociológica, de que las ciencias cuenten con leyes. Una (4) es la pervivencia implícita de la tradición pitagórico-platónica. La mayoría de los científicos rechazaría, incluso con vehemencia, la presunción de que algunos de sus planteamientos epistemológicos están influidos por esta tradición filosófica, poco apreciada a nivel consciente debido a su componente mística. Y sin embargo, es difícil no percibir la nostalgia de un *logos* o de un *mundo de las ideas* (matemáticas) detrás de algunas defensas de un orden legal subyacente. La otra razón (5) es la fuerza de la mentalidad y de los esquemas legalistas en el mundo del que los científicos forman parte, y por consiguiente también dentro de ellos mismos.

A mi modo de ver, todas estas razones heterogéneas tienen su peso en orden a fijar la prescripción de que “toda ciencia debe tener sus leyes”. A fin de sopesar si se trata de una exigencia justa, o en qué medida lo es, vamos a analizarlas una por una, dejando la primera (la más fundamental, sin duda) para el final. La contrastabilidad que las leyes permiten es desde luego una razón poderosa para tratar de establecerlas, ya que si una teoría no puede ser contrastada, tampoco se la puede considerar científica (aunque sí se la podría considerar filosófica, e incluso decidir, eventualmente, tomarla en consideración por la coherencia que aporta, o como una especie de principio regulador). Sin embargo, hay que dejar claro que la existencia de un *corpus* nomológico no es condición necesaria para la posibilidad de contrastación empírica. Así, las ciencias históricas no cuentan, en principio, con tal *corpus*, y no por ello dejan de ser contrastables, y en la medida en que la geología es ciencia histórica, esta observación le resulta aplicable. Claro que tampoco queda excluido que en un desarrollo histórico pueda incidir alguna “ley”, estar presente alguna causa de regularidad, que podría originar, por ejemplo, que dicho desarrollo presentase un semblante periódico. Es el viejo tema dicotómico, predilecto de los geólogos, “tiempo lineal *versus* tiempo cíclico”, un tema que siempre ha estado mal planteado, ya que debería formularse más bien así: “historia (de la Tierra) sin ninguna causa de regularidad *versus* historia compatible con la presencia de algunas causas de regularidad”. De todos modos, es evidente que ni siquiera en el segundo caso el resultado puede ser un círculo (que implicaría que “sólo hay ley” en perpetua aplicación) sino una espiral que preserva la no repetitividad esencial del fluir del tiempo.

Acaso, en la práctica, la razón más poderosa de las cinco invocadas sea la tercera, la de la aplicación tecnológica que la estructuración nomológica permite. No digo que esta sea la razón principal en sentido epistemológico, sino que lo es *sociológicamente*, pues es imposible no darse cuenta de que cada vez se recurre más al argumento tecnológico para zanjar debates científicos.



En cuanto a las razones expuestas en cuarto y quinto lugar, que podemos *grosso modo* considerar subjetivas, pienso que ambas, desde distintos lados, contribuyen a asentar el *paradigma nomológico* de la ciencia. Lo hacen, la una desde la metafísica (la pervivencia de concepciones platónicas), y la otra desde un contexto sociopolítico y moral interiorizado.<sup>69</sup> Serían, en efecto, estas razones las que más contribuirían a proporcionarle su marcado *semblante paradigmático* no al hecho bruto de las regularidades sino a la “exigencia de leyes” en ciencia..., a hacer de esta exigencia una *forma de mirar* (la realidad, el mundo...) en el sentido que puso Thomas Kuhn sobre la mesa hace ahora cuatro décadas, y que trataremos en el siguiente apartado.

Pero queda, de todos modos, el primer argumento, de carácter *ontológico*: como en la realidad hay efectivamente regularidades, las leyes tienen que formar parte de la realidad. Sin embargo, “la cara que nos pone la realidad” –que diríamos, parafraseando a Ortega<sup>70</sup>– es sólo la de unas regularidades observables, *fenoménicas*. El propio Newton estableció una ley puramente descriptiva de lo que ocurre siempre que dos masas se hallan en presencia y a una cierta distancia mutua; no pretendió saber lo que hacía que las cosas pasaran como pasaban.<sup>71</sup> Y si Einstein se aproximó, o no, doscientos años más tarde, a una cierta ontología subyacente (que tendría que ver con el espacio-tiempo y su geometría), es algo que los filósofos de la ciencia debaten intensamente desde hace casi un siglo. Pero, se mire como se mire, las leyes de la naturaleza son siempre instrumentales, no creo que se pueda hablar de leyes constitutivas ontológicas. Aclararé este punto de vista. Si, por ejemplo, la ley newtoniana de la gravitación universal se concibe

---

<sup>69</sup> Que, por cierto, una componente religiosa puede eventualmente reforzar: el judeocristianismo es una tradición eminentemente legalista.

<sup>70</sup> Ortega y Gasset, J., *Origen y epílogo de la filosofía*, Espasa-Calpe, col. Austral, Madrid, 1980, p. 43.

<sup>71</sup> “Hasta ahora he explicado los fenómenos... por la fuerza de la gravedad, pero aun no he averiguado *la causa de la gravedad misma...*, y yo no invento hipótesis.” (Newton, I., *Scholium generale* a los *Principia mathematica*, cit. por Popper, K., *Post Scriptum a “La lógica de la investigación científica”*, vol. 1, Tecnos, Madrid, 1985, p. 175).

como un caso particular de aplicación de la teoría einsteniana de la Relatividad General, entonces es posible también que esta última llegue a ser a su vez un caso restringido de otra teorización ulterior, más abarcante. Y cabe suponer que la cadena teórica no tiene fin.<sup>72</sup> No creo que este planteamiento sea especialmente novedoso, y me parece que está implícito tanto en el Popper de las falsaciones sucesivas (que originan progreso) como en el Kuhn de las crisis paradigmáticas (con progreso o sin él, según interpretaciones). Ahora bien, incluso si las leyes se conciben como aproximaciones formalizadas –cambiantes, justamente por provisionales–, la certeza de que en cualquier caso subyace una misteriosa regularidad *en el fondo* del dominio que se estudia, puede permanecer razonablemente. Pero esa “raíz regular última” no tiene por qué ser conceptualizable en términos de “ley”... Obviamente no puedo decir más, pero creo que tiene sentido sugerir que quizá un concepto tan socio-antropomorfo como es el de “ley de la naturaleza” no tiene por qué permanecer eternamente.<sup>73</sup>

Toda la discusión anterior se orienta a dejar abierta la posibilidad de una alternativa al modelo nomológico, que pueda eventualmente ser aplicable a la geología. A una geología de la que cabe preguntarse qué ha estado pasando entre ella y las “leyes”. Intentemos un pequeño resumen.

En el momento de nacer la estratigrafía, a mediados del siglo XVII, se manifestó, por primera vez, una preocupación nomológica. Steno estableció unos *principios estratigráficos* que relacionan la posición de las capas con su génesis

---

<sup>72</sup> Aunque también se puede apostar por que sí lo tiene, como hacen algunos físicos, y suponer que se acabará por dar con *la* teoría que reflejará perfectamente la realidad. Es una creencia tan respetable como cualquier otra.

<sup>73</sup> Karl Popper calificaría seguramente mi punto de vista de “esencialista”. Reconozco honestamente serlo, como por lo demás creo que *lo es, aunque sea a su pesar, todo realista*, pues en verdad no veo cómo se puede postular una realidad (y con mayor razón, “la” realidad) sin admitir al mismo tiempo “el ser de esa realidad”, es decir, una *esencia* de lo que es real. Otra cosa es que sea, en sí, cognoscible, pero sigo sin encontrarle escapatoria a un cierto esencialismo consustancial al realismo. De hecho, así parece admitirlo –aunque a regañadientes– el propio Popper al aceptar ser catalogado como “defensor de un esencialismo modificado”: ver *PostScriptum*, vol. 1, p. 177.

(ver capítulo 2). Las leyes de las correlaciones estratigráfico-paleontológicas fueron formuladas a principios del siglo XIX. Y la mineralogía y la cristalografía contaban ya, por entonces, con sus propias leyes, estrechamente dependientes de la incardinación químico-física de ambas disciplinas. A una escala más vasta, pero lejos todavía de la escala global, encontramos “constataciones con semblante legal”<sup>74</sup> en petrología y vulcanología. Ni que decir tiene que la geofísica cuenta –y ha contado siempre– con leyes; pero estas son simplemente leyes de la física aplicadas al “objeto Tierra”, por lo que insistir en esto resulta trivial.

Antes de pasar a tratar el problema que aquí más nos concierne, el de las leyes en geología global, observemos qué clases de “leyes” acaban de ser evocadas. Entre ellas se encuentran, en primer lugar, *reglas* derivadas de una combinación de leyes básicas de la física (la gravedad, por ejemplo que, en unión a factores como densidad, viscosidad, turbulencia, etc., causa la sedimentación) o de la biología evolutiva (en lo que se refiere a la correlación por fósiles) con las de una *lógica* fuertemente temporalizada (sincronía, diacronía...). Y en segundo lugar, leyes concernientes a las entidades (minerales, rocas, fósiles...) que constituyen el objeto de estudio de diversas ciencias vinculadas a la geología, y que no son –si bien se mira– sino leyes de la física, la química y la biología que encuentran aplicación geológica. Así que por este lado faltan, me parece, leyes geológicas que quepa, con toda propiedad, llamar tales.

Ascendiendo ya al nivel global, lo primero que nos encontramos es el *principio uniformitario*, al que, según el parecer de numerosos autores, Charles Lyell intentó dar la categoría de una auténtica ley impresa en la naturaleza terrestre, al llevarlo mucho más allá de su carácter esencial, que era el de un principio regulador de las concepciones y la investigación en geología. Como este tema ya se ha tratado, me remito a la opinión expresada finalmente sobre el mismo, de que el carácter de ley (por no decir de *vera causa*) del uniformitarismo no pasaba de ser una visión personal del autor de *Principles of Geology*.

---

<sup>74</sup> En inglés existe una fórmula perfecta para expresar este concepto: *lawlike statements*. Una traducción castellana aceptable es “formulaciones *legiformes*”.

Luego, habría que citar también las pretensiones de distintos geólogos eminentes del siglo antepasado, de haber descubierto importantes leyes generales referentes a la dinámica y a la configuración general de la Tierra. El ejemplo de Léonce Élie de Beaumont, que sentó cátedra en Francia con su “ley de la configuración pentagonal de las orogenias”, no puede ser pasado por alto. Claro que la corriente direccionalista que encabezó durante un tiempo no representaba a la generalidad de los geólogos, pero tampoco la representaba por entonces su rival, Lyell. En todo caso, es preciso mencionar el *gran principio direccional* del enfriamiento de la Tierra y de la disminución a lo largo del tiempo de la intensidad de los fenómenos telúricos, sostenido por toda la corriente direccionalista (pero no, claro está, por los uniformitaristas), un principio rico en derivaciones nomológicas, que por lo demás dimana directamente de la segunda ley de la termodinámica, razón por la cual Nathan Reingold y Daniel Kevles, dos historiadores de la ciencia americanos, llaman “tradición geofísica” a toda la corriente geológica direccionalista.<sup>75</sup>

Pero, se dirá, esas eran situaciones propias de una ciencia inmadura, cuyos cultivadores ni siquiera compartían una misma concepción de fondo. Ahora que el *consenso paradigmático* por fin se ha alcanzado con el triunfo de la tectónica de placas, las cosas pueden ser distintas, y tal vez la ciencia de la Tierra pueda contar con formulaciones indistinguibles de las leyes de otras ciencias de la naturaleza. Y en efecto, numerosos rasgos de una ciencia basada en leyes están presentes en la geología actual. Así, es posible la predicción –con capacidad falsativa– de ciertas presencias, como por ejemplo la de bandas de inversión magnética aproximadamente simétricas a ambos lados de un *rift* (zona de nacimiento de corteza oceánica), o la de yacimientos de hidrocarburos en determinadas áreas, de acuerdo al lugar que éstas ocupaban en las fases tempranas de la evolución de una cuenca geotectónica. No cabe duda, pues, de que, a un cierto nivel, la geología se ha *normalizado* como ciencia en las últimas décadas. Pero conviene profundizar más. Las “formulaciones con aspecto de ley” que han pasado a enriquecer la

---

<sup>75</sup> De esta denominación se hace eco Naomi Oreskes (*op. cit.*, p. 278).

ciencia geológica desde que cuenta con la guía paradigmática de la tectónica global, ¿son comparables a las leyes de la física? Se aducirá que eso no es un verdadero problema, que lo que importa es que existen ya, hoy por hoy, reglas deductivas en geología que funcionan como leyes. Sin embargo, esta manera de obviar la cuestión no consigue convencerme. Así que abordaré la que me parece ser la diferencia esencial: mientras que en física, numerosas leyes presentan un semblante de fundamentalidad, un semblante *entitativo*, las regularidades “legales” de la geología actual parecen ser consecuencia del funcionamiento de una estructura terrestre global, de un sistema material-energético que, en alguna medida, se ha llegado a conocer. Y dicho funcionamiento sigue, simplemente, las leyes de la física. A un cierto nivel, esta constatación es -obviamente- reductiva; pero a otro nivel distinto lo que hace es poner de relieve lo inadecuado de la pretensión de reducir la Tierra a una mera colección de regularidades físicas, por más que éstas, evidentemente, existan. Y es que la focalización exclusiva en unas leyes que, se supone, dan cuenta completa de los entes naturales que estudian las ciencias es, ante todo, un punto de vista *paradigmático*, con las justificaciones que han sido sugeridas para el mismo. Puede ciertamente haber otros. Uno de ellos sería el *paradigma sistémico*, que parte de un solo principio de carácter ontológico: el de la orientación básica de la *physis* a dar nacimiento (contando justamente con el “factor tiempo” como un parámetro fundamental<sup>76</sup>) a nuevos niveles estructurales en los que emergen propiedades –o aspectos cualitativos– que no existen en los niveles precedentes.<sup>77</sup>

---

<sup>76</sup> Lo que relativiza, por un lado, la noción de *azar*: en un tiempo lo suficientemente largo, todas las combinaciones acaban sobreviniendo, incluso las que se revelan determinantes para el surgimiento de bifurcaciones evolutivas. Y por otro, está ligado *recursivamente* a la existencia misma del tiempo como “coordenada-flecha” irreversible.

<sup>77</sup> Algunas de esas propiedades pueden, qué duda cabe, presentar un semblante de regularidad, tener aspecto de leyes. Pero el énfasis –o el punto de vista– está ahora en otra parte. Porque, por ejemplo, las regularidades sistémicas pueden cambiar -o evolucionar- en el tiempo (pongamos, a escala cosmogónica). O pueden no ser verdaderamente “universales”. Todo esto se ha convertido en tema de debate, lo que debe, por cierto, hacer retorcerse en su tumba al hiperlegalista Charles Lyell.

Como se verá en el desarrollo de la tesis, es posible que la geología “se sienta más cómoda” dentro del paradigma sistémico que dentro del nomológico. Pero esto pide tratar primero la noción misma de “paradigma”, y preparar el tratamiento del enfoque sistémico mediante la introducción del tema de la *complejidad*, lo cual se hará en el resto del capítulo.

## **1. 4. Paradigmas**

### **1. 4. 1. Entre sujeto y realidad**

La implacable crítica neopositivista a la metafísica partía de la imposibilidad de contrastar empíricamente las propuestas procedentes de su área. Los pensadores del Círculo de Viena, asumiendo una modelización fisicalista de la filosofía, fueron tajantes en afirmar que “solamente las proposiciones observacionales poseen significado”. Pero el caso es que, para poder llevar a cabo la elemental actividad de “observar”, hasta los positivistas tienen que contar con algo así como categorías del entendimiento, sean o no conscientes de ello. Aunque siempre queda el recurso de declarar falso el problema, afirmando que basta con estar en condiciones de hacer predicciones exitosas por métodos computables (hoy, “computadorizables”) y, en definitiva, con producir resultados partiendo de teorías de significado puramente instrumental. Viene a la memoria una frase de Schelling: “No se trata [*entonces*] de probar que sea verdadero lo que el

entendimiento común tiene por verdadero, sino sólo de descubrir la inevitabilidad de sus ilusiones.”<sup>78</sup>

Lo que está en juego es mucho. Tres son las opciones que se abren. La primera, la de los *empiristas*, consiste en sostener que, ya que el mundo se nos ofrece, simplemente hay que saber mirar (dotándose eventualmente de los adecuados instrumentos capaces de extender nuestra visión) y estar bien alerta frente a las causas inductoras de errores de apreciación (las *prenociones* y los *ídolos* de diverso tipo a que se refiere Francis Bacon<sup>79</sup>). Para los mantenedores de esta postura, el *aparecer* (en la consciencia) es simple reflejo del *ser*, o en todo caso lo será cuando se siga un método epistémico correcto, un método *científico*. De los primeros materialistas de la Antigüedad a los realistas ingenuos de los siglos XIX y XX, pasando por Francis Bacon y por Locke, todos los pensadores de esta corriente insisten en que el mundo exterior “está simplemente ahí” y que es captado, sin más, por los sentidos, a través de los cuales llega al alma –o a la consciencia– que se limita a constatar unos ciertos datos, llenándose, de paso, de una experiencia de la que inicialmente carecía del todo, puesto que no era más que una *tabula rasa* (Locke) que nada podía añadir ni quitar. Siguiendo el “río” de esta tradición filosófica nos encontramos, primero, con el positivismo científico y acabamos desembocando en la desvalorización de la consciencia que caracteriza a las posiciones epifenomenistas de los últimos cien años.

La segunda posibilidad es el *innatismo* en sus distintas formulaciones. Un importante abanderado de esta posición en el Siglo de Oro de la filosofía es Leibniz quien, en su polémica –de guante blanco en la forma, pero muy dura en el fondo– con Locke, defiende con firmeza la existencia de “verdades” innatas que las experiencias sensoriales simplemente *despiertan*, un poco como si de reminiscencias platónicas se tratara (aunque sin postular, por ello, la preexistencia

---

<sup>78</sup> Schelling, F.W., *Sistema del Idealismo Trascendental*, Anthropos, Barcelona, 1988, p. 161.

<sup>79</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, XXV – XXVIII y XXXVIII – XLIV, Editorial Porrúa, México, 1975, pp. 40-43.

del alma).<sup>80</sup> El *perspectivismo* es, a mi modo de ver, una consecuencia lógica del innatismo, ya que los “filtros” o los “cedazos” (como dice Ortega) no pueden ser totalmente idénticos ni en todos los individuos ni en todos los pueblos o culturas. ¿No escribió Leibniz, en su *Monadología*, estas palabras?:

Y así como una misma ciudad, vista por diferentes partes, parece otra y resulta como multiplicada en perspectiva, así también sucede que, por la multitud infinita de substancias simples, hay como otros tantos universos diferentes, los cuales no son, sin embargo, sino perspectivas de uno solo, según los diferentes puntos de vista de cada Mónada.<sup>81</sup>

Estas dos primeras opciones son *realistas*, en el sentido de que dan por sentado que existe una realidad independiente (de la consciencia) que es, justamente, el objeto del conocimiento. Pero hay una tercera alternativa, que puede ser, o no, realista. Se trata de la postura *constructivista* que encierra, de hecho, posicionamientos filosóficos muy distintos. Tenemos desde los constructivistas claramente no realistas, o incluso “anti-realistas”, más o menos postmodernos, para los que –desde un solipsismo que sus juegos retóricos apenas consiguen disfrazar– el mundo y la realidad, con sus formas y sus regularidades, es puro constructo (psicológico, lingüístico, social...), hasta otros que cabe desde luego considerar realistas. Entre éstos últimos, yo contaría a Cassirer<sup>82</sup>, a Francisco Varela y a Humberto Maturana. Resumiría la posición de estos autores diciendo que dan por descontado la existencia de una *realidad* independiente de la consciencia, pero no así la de un *mundo*; pues “realidad” y “mundo” no significan lo mismo, y en la emergencia de este último sí que participa decisivamente la consciencia. Para Cassirer, por ejemplo, sólo la aproximación a lo real a través del

---

<sup>80</sup> Ver Leibniz, G.W., *Nouveaux Essais sur l'Entendement Humain*, Garnier-Flammarion, París, 1966.

<sup>81</sup> Leibniz, G.W., *Monadología*, 57, Facultad de Filosofía UCM, Madrid, 1994, pp. 22-23.

<sup>82</sup> Sobre el constructivismo de base realista de Cassirer, ver Jantz, N., *Globus Symbolicus. Ernst Cassirer: une épistémologie de la troisième voie?* (tesis doctoral), Faculté des Lettres, Université de Lausanne, Lausana, 1999.



prisma de una forma simbólica hace nacer un mundo dotado de auténtica coherencia. Para Francisco Varela y Humberto Maturana, no sólo el ser humano sino todo ser vivo es un foco “creador de mundo” (*poiético* por tanto, además de *autopoiético*) a partir de la interacción con una realidad-en-sí cuyo orden no adquiere plena consistencia cósmica más que al ser participativamente vivenciado (más que simplemente “percibido”). En una palabra, *es en la interfases consciencia – realidad independiente donde se sitúa el mundo*. De ahí, una ineludible pluralidad de mundos, pese a una realidad unitaria subyacente que, en tanto que impenetrable en-sí, recuerda mucho *le Réel voilé* de Bernard d’Espagnat.<sup>83</sup> El Kuhn de *La estructura de las revoluciones científicas*, el de los “paradigmas que, cuando cambian, hacen que el mundo (de los científicos) cambie”, no me parece que –tal vez a pesar suyo– anduviera muy lejos de esta clase de constructivismo.

#### **1. 4. 2. Thomas Kuhn y la psicología de la Gestalt**

En la presente tesis se maneja con frecuencia el concepto kuhniano de paradigma que, no lo ignoro, ha sido blanco de severas críticas desde la publicación, en 1962, de su obra cumbre, *La estructura de las revoluciones científicas*, a causa sobre todo de su definición, calificada por algunos de poco clara. Pienso, sin embargo, que Kuhn se expresa al respecto con la mayor claridad en el capítulo 10 de *La estructura...*, titulado “Las revoluciones como cambios del concepto del mundo”.<sup>84</sup> Una lectura sosegada de la obra que marcó el punto de partida de la perspectiva kuhniana, y en especial de dicho capítulo -que considero clave, teniendo en cuenta la obvia pretensión del autor de alcanzar en él las máximas cotas de generalidad- permite constatar que Kuhn desarrolló dicha

---

<sup>83</sup> Ver D’Espagnat, B., *En busca de lo real*, Alianza, Madrid, 1983.

<sup>84</sup> Título original del capítulo: “Revolutions as Changes of World Views”.

noción muy influido por la psicología-filosofía conocida como de la *Gestalt*<sup>85</sup>, a la que se refiere con gran insistencia, y cuyo peculiar estilo se reconoce fácilmente, por lo demás, a todo lo largo del libro. Dice Kuhn al comienzo del capítulo 10:

Los cambios de paradigmas hacen que los científicos vean el mundo de investigación que les es propio de manera diferente. En la medida en que su único acceso a ese mundo se lleva a cabo a través de lo que ven y hacen, podemos desear decir que, después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente.

Las demostraciones bien conocidas de un cambio en la forma (*Gestalt*) visual resultan muy sugestivas como prototipos elementales para esas transformaciones del mundo científico. Lo que antes de la revolución eran patos en el mundo del científico, se convierte en conejos después.<sup>86</sup>

En todo el capítulo (en el que la palabra *Gestalt* se repite continuamente<sup>87</sup>), Kuhn no cesa de remachar el mismo clavo. Así, dice en la página siguiente:

En tiempos de revolución, cuando la tradición científica normal cambia, la percepción que el científico tiene de su medio ambiente debe ser reeducada, en algunas situaciones con las que se ha familiarizado debe aprender a ver una forma (*Gestalt*) nueva. Después de que lo haga, el mundo de sus investigaciones parecerá, en algunos aspectos, incomparable con el que habitaba antes. Esa es otra de las razones por las que las escuelas guiadas por paradigmas diferentes se encuentran siempre, ligeramente, en pugna involuntaria.<sup>88</sup>

Y dos páginas más adelante:

---

<sup>85</sup> Esta corriente se conoce también como “psicología de la forma” (*Gestalt* = forma, en alemán).

<sup>86</sup> Kuhn, T.S., *La estructura...*, p. 176.

<sup>87</sup> En la traducción española, este término alemán va siempre en cursiva y entre paréntesis, después de “forma”. Kuhn, sin embargo, utiliza con enorme frecuencia y soltura la palabra “gestalt” en el texto original, sin ponerla jamás en cursiva ni entre comillas, como alguien totalmente acostumbrado a manejarla, y plenamente familiarizado con la corriente a la que, de hecho, se refiere.

<sup>88</sup> Kuhn, T.S., *La estructura...*, p. 177.

Al examinar la rica literatura experimental [*de la psicología de la Gestalt*] de que hemos extraído estos ejemplos, podemos llegar a sospechar que es necesario algo similar a un paradigma como requisito previo para la percepción misma. Lo que ve un hombre depende tanto de lo que mira como de lo que su experiencia visual y conceptual previa le ha preparado para ver. En ausencia de esa preparación sólo puede haber, en opinión de William James, “una confusión floreciente y zumbante” (*a blooming, buzzing, confusion*).<sup>89</sup>

Personalmente, encuentro transparente este planteamiento, a condición de leerlo a la luz “paradigmática” de la corriente epistemológica (y no sólo psicológica: ver Anexo 1) de la *Gestalt*.

Ante las críticas recibidas, Kuhn optó por disminuir el alcance de sus propuestas, atrincherándose en la definición restringida de paradigma que contiene el prefacio de *La estructura...* (“realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica”), y tratando de reconducir la polémica noción hacia la identificación exclusiva con el concepto de “ejemplo paradigmático” (o ejemplar), en contradicción flagrante con largos desarrollos como los contenidos en los párrafos que acabo de citar. Y, por ejemplo, con los dos siguientes, más expresivos aun si cabe:

[*Las crisis científicas*] se terminan, no mediante deliberación o interpretación, sino por un suceso relativamente repentino y no estructurado, como un cambio de forma (*Gestalt*). Entonces los científicos hablan con frecuencia de las “ vendas que se les caen de los ojos “, o de la “ iluminación repentina” que “inunda” un enigma previamente oscuro.(...) Ningún sentido ordinario del término “interpretación” se ajusta a esos chispazos de la intuición por medio de los cuales nace un nuevo paradigma.<sup>90</sup>

Como resultado de la experiencia encarnada en paradigmas, el mundo de los científicos ha llegado a estar poblado de planetas y péndulos, condensadores, minerales,

---

<sup>89</sup> *ibid.*, p.179.

<sup>90</sup> *ibid.*, pp. 192-193.

compuestos y otros cuerpos similares. (...) Queremos sugerir que el científico [*actual*] que observa el balanceo de una piedra puede ser incapaz de tener ninguna experiencia que, en principio, sea más elemental que la visión de un péndulo. La alternativa no es ninguna visión “fija” hipotética, sino la visión que, a través de otro paradigma, convierta en otra cosa a la piedra que se balancea.<sup>91</sup>

Pienso que el impacto que *La estructura de las revoluciones científicas* tuvo en su día, y la fuerza que conserva, tiene que ver en gran parte con estos planteamientos, que corresponden a unas ideas-simiente que ni siquiera su propio autor estaba en condiciones de diluir más tarde. De hecho, no creo que Kuhn lo consiguiera en su ensayo *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, en el que trata de defenderse de las críticas más duras a costa de sacrificar, o poco menos, el polémico concepto. Merece la pena leer atentamente este pequeño escrito de cuarenta páginas: en él, Kuhn cambia ostensiblemente de estilo y se pasa a las explicaciones formalistas. En lo que se refiere al término controvertido, propone en concreto dos cosas: 1) utilizarlo normalmente sólo en su sentido restringido de “ejemplar”; y 2) utilizar de preferencia la expresión *matriz disciplinar* para referirse a su sentido amplio (claramente el principal en *La estructura...*), dado que “un paradigma se compone de elementos ordenados de varios tipos, requiriendo cada uno de ellos ulterior especificación”. Pero este giro no está exento de problemas. El principal lo pone de manifiesto el mismo Kuhn, unas páginas más adelante:

El filósofo tiene libertad para sustituir ejemplos por reglas, y al menos en principio, puede esperar tener éxito al actuar así. Sin embargo, en el proceso sustitutivo alterará la naturaleza del conocimiento que la comunidad posee y del que fueron extraídos sus ejemplos. Lo que el filósofo hará en realidad es sustituir un medio de procesar datos por otro.(...) Debilitará el conocimiento de la comunidad, al efectuar esta operación.<sup>92</sup>

---

<sup>91</sup> *ibid*, pp. 200-201.

<sup>92</sup> Kuhn, T., *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Tecnos, Madrid, 1978, pp. 35-36.

Se diría que el Kuhn de mediados de los setenta tenía dificultades en aplicar a su propio caso este principio. Pero “el primer Kuhn”, el de 1962, no debería preocuparse: todo el mundo le sigue asociando con los dos conceptos-clave de paradigma y de revolución científica (que pone en juego cambios paradigmáticos).

La aproximación gestáltica, junto con una lectura de la concepción kuhniana del desarrollo de la ciencia que finalmente asuma sin reticencias dicha aproximación, a todas luces fundamental en Kuhn como fuente de inspiración epistemológica, puede, en mi opinión, proporcionar un marco especialmente adecuado para entender el desarrollo de una disciplina como la geología, cuyo campo específico lo constituye la Tierra, ese macroobjeto envolvente –medio y matriz por excelencia– que tanta dificultad ha tenido históricamente la humanidad en observar distanciadamente (no sólo en sentido físico), un poco como, con respecto al elefante bajo cuya panza se hallaban, les pasaba a los cuatro ciegos de la célebre fábula hindú.

#### **1.4.3. Los *themata* y el *imaginario***

Ha sido Gerald Holton el que, en su obra *La imaginación científica*, ha llamado la atención sobre la presencia, en la historia del pensamiento, de *temas* que se dirían eternos y que son, en todo caso, recurrentes, cumpliendo el papel de excitar la imaginación y promover la creatividad de los científicos (y no sólo de ellos: también de los filósofos, artistas, etc). Holton hace notar que los científicos asumen de buen grado una ciencia establecida metafóricamente “en el plano”, en un plano cuyas coordenadas  $x$ ,  $y$  corresponden respectivamente a la *recolección de datos empíricos* y a las *reglas de formalización lógico-matemática*, pero muestran una considerable desconfianza hacia la tercera coordenada, la “espacial”  $z$ . Esta dimensión de “altura” y “profundidad” de la investigación científica, que no responde ni a lo inmediatamente observable ni a lo procesalmente lógico (y

como tal, formalizable), es la dimensión *temática*, de naturaleza estrictamente cualitativa.

Consciente de penetrar en un terreno especialmente resbaladizo para un profesor de física y de historia de la ciencia (él lo es en Harvard), Holton lanza de entrada una serie de negaciones: “Desde luego, [*los temas*] no son intocablemente sintéticos *a priori*, en el sentido del siglo XVIII; tampoco es necesario asociarlos con arquetipos platónicos, keplerianos o jungianos, o con imágenes o con mitos (en el sentido no peyorativo, tan rara vez usado), ni con aprehensiones irreductiblemente intuitivas. De modo semejante, no es preciso subrayar que el análisis temático no es una ideología, una escuela de metafísica, una defensa de la irracionalidad, un ataque a la indiscutida eficacia de los datos empíricos y de la experimentación, ni un intento de enseñar a los hombres de ciencia a realizar mejor su trabajo. Tampoco es un marco teórico para acomodar nociones tan distintas como paradigmas o programas de investigación.”<sup>93</sup> Sin embargo, algunas páginas más adelante nos hace saber que: “...vemos en acción el componente temático desde el principio mismo, en las fuentes de ideas cosmogónicas, después descubiertas, en la *Teogonía* de Hesíodo y en el *Génesis*. En realidad, en ninguna parte puede verse la persistencia de las grandes cuestiones y la obstinación de ciertas pautas preseleccionadas para definir y resolver los problemas, mejor que en las especulaciones cosmológicas. Las antiguas suposiciones milesias...(etc.)”.<sup>94</sup>

Holton dice también que los temas (*themata* en griego) son claramente recurrentes, y que “no se prueban ni se refutan”.<sup>95</sup> No siendo falsables, los *themata* no son “científicos”, al menos en el sentido de Popper que tantos científicos asumen. Y sin embargo, no puede haber ciencia –ni ninguna clase de

---

<sup>93</sup> Holton, G., *La imaginación científica*, Fondo de Cultura Económica, México, 1985, pág. 11.

<sup>94</sup> *ibid.*, p. 26.

<sup>95</sup> *ibid.*, p. 27.

conocimiento— sin ellos. Parece que la coordenada *z* de Holton es nada menos que la que da cuenta del *significado*, aquélla en la que se sitúan las *gestalten* intelectivas. Éstas últimas, frecuentemente dicotómicas (un rasgo puesto de relieve por Holton mismo y por S.J. Gould<sup>96</sup>), realizan periódicamente el “milagro” de la transformación de los conejos en patos y viceversa:

El atomismo del siglo XIX triunfa sobre los vórtices de éter de Kelvin, pero entonces surgen las teorías del campo que vuelven a enfrentarse a las partículas de materia como singularidades(...). La versión moderna de la teoría cosmológica basada en el tema de un Ciclo Vital (Principio, Evolución y Fin) triunfa, al parecer por motivos experimentales, sobre la teoría rival basada en un tema de Existencia Continua, y la arroja por la ventana... pero podemos estar seguros de que este tema volverá por la puerta trasera.”<sup>97</sup>

La estrecha relación de los *themata* con la imaginación (esa *imaginación creadora* que tanto enfatizaba Gaston Bachelard) no sólo es reconocida por Holton, sino que explica el título mismo de su libro. El *contexto de descubrimiento* debería mucho, según él, tanto al impulso irresistible de exploración temática como a esa imaginación que le está indisolublemente asociada.

Al considerar algunos ejemplos de *themata*, ordenados por pares de opuestos (tal como se observa que suelen presentarse históricamente)<sup>98</sup>, propuestos por Holton: “experiencia observacional” y “formalismo”, “discontinuidad” y “continuidad”, “estructura jerarquizada” y “homogeneidad estructural”, “mecanicismo” y “organicismo”...<sup>99</sup>, se percibe enseguida su fuerte aroma metafísico; caben, en efecto, pocas dudas de que grandes apuestas, que no son,

---

<sup>96</sup> Gould, S.J., *La flecha del tiempo. Mitos y metáforas en el descubrimiento del tiempo geológico*, Alianza, Madrid, 1992.

<sup>97</sup> Holton, G., *La imaginación científica*, p. 27.

<sup>98</sup> La polarización de los *thémata* nos sugiere que incluyen *connotaciones valorativas* de las que no siempre se tiene clara consciencia, pero que no cuesta gran trabajo discernir. Recuérdese la “propiedad polar” de los valores, a la que nos hemos referido anteriormente (1.2.1).

<sup>99</sup> Holton, G., *La imaginación científica*, p. 12.

*sensu stricto*, racionales (pero que no por ello “van contra la razón”), se esconden tras ellos, y de hecho en una reflexión sobre el trasfondo metafísico de los *themata* se basó Alexandre Koyré, uno de los maestros reconocidos de Kuhn<sup>100</sup>, para afirmar que el desarrollo de la ciencia es movido principalmente por el irreprimible impulso de especulación metafísica que está presente en el ser humano.

Pero si lo metafísico sigue siendo esencialmente conceptual (aunque no estoy seguro de que lo sea el *élan métaphysique* koyreano), ¿podríamos afirmar, en cambio, que sólo contiene conceptos puros la descripción que suministra Holton del tema (típico) de la *energía*?:

No es difícil seguirlo desde la *energeia* de Aristóteles, a través del *anima motrix* neoplatónica, y la activa *vis* que aun se encuentra en los *Principia* de Newton (...). En vista de la obstinada preocupación del espíritu humano por el tema del principio potente, activo –algunos dirían masculino–, antes y aparte de toda ciencia de la dinámica (y también por su opuesto, el persistente principio pasivo sobre el que actúa), resulta difícil imaginar alguna ciencia en la que no exista una concepción de fuerza (y de su opuesto, la inercia).<sup>101</sup>

Pienso que es fácil detectar aquí un núcleo imaginal y vital, del que lo meramente conceptual no da completa cuenta, a diferencia de lo que sucede con la definición científica y formalizada de “energía”. Holton habla aquí, más bien, de la energía como *mito*.

¿Existe o no, pues, un nexo entre los *themata* y los mitos? Parece que finalmente sí. Aclaremos que ese “sentido no peyorativo, aunque inhabitual” del mito, a que se refiere Holton en la primera de las citas suministradas, es justamente el que le daban los filósofos románticos. Y recordemos la propuesta de Cassirer

---

<sup>100</sup> Ver Solís, C., Introducción (“Alexandre Koyré y la historia de la ciencia”) en Koyré, A., *Pensar la ciencia*, Paidós / UAB, Barcelona, 1994. Ver también Beltrán, A., Introducción (“T.S. Kuhn. De la historia de la ciencia a la filosofía de la ciencia”) en Kuhn, T.S., *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*.

<sup>101</sup> Holton, G., *La imaginación científica*, p. 24.



(nada ajena, a mi modo de ver, a la tradición romántica) de que el dominio mitológico constituye una *forma simbólica* fundamental, digna como tal de ser estudiada tanto histórica como transhistóricamente.

Cabe detectar una cierta continuidad del punto de vista romántico acerca del pensamiento mítico, no sólo en Cassirer sino también en diversas escuelas psicoanalíticas (se puede tener *in mente* a Jung, pero habría que recordar también la utilización por Freud de referencias mitológicas) y en numerosos filósofos alemanes y franceses del siglo XX. Entre estos últimos, hay que destacar a Gilbert Durand, autor de la que es probablemente la obra fundamental de referencia sobre la noción de *imaginario*.<sup>102</sup> Este pensador pone de relieve el trasfondo mítico de las grandes corrientes de pensamiento, incluso científico, y desde luego de los *themata* sobre los que se articulan. Esto se explica, según él, por el enraizamiento del *mitologema* (núcleo significativo esencial de un mito) en el *arquetipo*, en sentido explícitamente jungiano. De esta vinculación provendría la carga emocional y la “explosión imaginal”, la plétora de imágenes (no únicamente visuales en sentido estricto, sino también metafóricas), que acompaña a la fase de expansión (y a los “retornos”) de cualquier idea nucleadora.

El ejemplo principal de su enfoque que pone Gilbert Durand nos interesa especialmente, ya que no es otro que el de las dos grandes tradiciones contrapuestas que son la que considera a la Naturaleza (cuyo objeto paradigmático es justamente la Tierra) como el adversario por excelencia a someter, y la que asume la continuidad esencial entre una Naturaleza percibida como maternal o fraterna, y la condición humana.<sup>103</sup>

Por lo que se refiere a los arquetipos, evocados por Durand, diríamos que en pocos ámbitos científicos procede más hablar de ellos –y por ende de su máximo

---

<sup>102</sup> Durand, G., *Les structures anthropologiques de l'imaginaire*, Dunod, París, 1990.

<sup>103</sup> Durand, G., *Introduction à la mythodologie*, Albin Michel, París, 1996, ch. III (“La notion de *bassin sémantique*”), pp. 85-136.

teorizador moderno, Carl-Gustav Jung<sup>104</sup>— que en geología, y especialmente en lo que toca a su historia. Últimamente se reconoce cada vez más abiertamente, aunque no sin manifestar casi siempre un cierto malestar, que “algo” muy parecido a arquetipos ha guiado el despliegue de numerosas “visiones de la Tierra”. No sólo Stephen Jay Gould<sup>105</sup> y Donald B. McIntyre<sup>106</sup> han subrayado el trasfondo arquetípico presente en las concepciones científicas del tiempo geológico profundo y de la dinámica terrestre, sino que también entre nosotros ha sido puesto de relieve este rasgo, y es así que en la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* podemos leer lo siguiente:

El *Eterno Retorno...* plantea la *eterna renovación* de una serie de *arquetipos primordiales* (celestes y humanos) en un ciclo temporal recurrente de creación-destrucción.(...) En cuanto a la filosofía geológica, nos vamos a encontrar con una serie de *arquetipos primordiales* en permanente renovación.(...) Estos arquetipos van a ser de distinta naturaleza geológica, pero siempre opuestos y enfrentados entre sí.<sup>107</sup>

Y aunque el autor pone como “el ejemplo más relevante [*de lo anterior*] el que forman el mundo marino o acuático (desorden) y el mundo terrestre o continental (orden), al originarse siempre este último a partir del primero en un proceso de

---

<sup>104</sup> Jung se refiere con frecuencia a un presupuesto filogenético para fundamentar su teoría del inconsciente colectivo. Valga como ejemplo la siguiente cita: “Así como el cuerpo humano representa todo un museo de órganos, cada uno con una larga historia de evolución tras de sí, igualmente es de suponer que la mente está organizada en forma análoga. No puede ser un producto sin historia, como no lo es el cuerpo en el que existe.(...) Me refiero ahora al desarrollo biológico, prehistórico e inconsciente de la mente del hombre arcaico, cuya psique estaba aun cerca de la del animal. Esta psique inmensamente vieja forma la base de nuestra mente, al igual que gran parte de la estructura de nuestro cuerpo se basa en el modelo anatómico general de los mamíferos.” (“Acercamiento al inconsciente” en Jung, G.C., *El hombre y sus símbolos*, Luis Caralt, Barcelona, 1984, p. 65).

<sup>105</sup> Gould, S.J., *op. cit.*

<sup>106</sup> McIntyre, D.B., “James Hutton y la filosofía de la geología” en C.C. Albritton, Jr. (ed.), *Filosofía de la geología*, CECSA, México, 1970.

<sup>107</sup> García Cruz, C.M., “Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico” en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2001 (9.3), pp. 233-234.

renovación periódica o cíclica”<sup>108</sup>, el ejemplo más llamativo que me viene, a mí, al pensamiento no es otro que el de unas placas tectónicas que, cíclicamente, “nacen” en las zonas de *rift*, formándose a partir de hirvientes magmas ascendentes, y “mueren” en las zonas de *subducción*, al hundirse –rígidas y frías– en las profundidades telúricas.

#### 1. 4. 4. Paradigma y metafísica: Popper y Koyré

Pasando de uno de los pensadores que suelen asociarse con posiciones irracionistas, como Jung, a otro de los tenidos habitualmente por referentes indiscutibles de la Razón, como Karl Popper, llama la atención que tanto el uno como el otro aporten ideas susceptibles de contribuir a aclarar la noción de paradigma; ideas que, se diría, incluso resuenan de alguna manera.

Defiende Popper, en el volumen 3 de su *Post scriptum a La lógica de la investigación científica*<sup>109</sup>, que sistemáticamente concepciones metafísicas – como tales, no falsables, “sobre todo inicialmente” –, visiones intuitivas sintéticas y totalizadoras sobre la naturaleza o alguno de sus aspectos, se hallan en la raíz de *programas de investigación*<sup>110</sup> orientados a permitir una cierta contrastación de las visiones en cuestión con la realidad, en un auténtico proceso de generación de “lo científico” desde “lo metafísico”.

Encuentro muy interesante el modo como plantea Popper su concepción:

---

<sup>108</sup> *ibid.*, p. 234.

<sup>109</sup> Popper, K., *Post scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. 3 (*Teoría cuántica y el cisma en Física*), Tecnos, Madrid, 1985.

<sup>110</sup> Esta formulación de “programas de investigación” la habría hecho inicialmente Popper y no Lakatos como se suele creer (ver Popper, K., *Post scriptum...*, vol. 3, nota 42, del editor, al “Prefacio de 1982”). De todos modos, existe una diferencia significativa: Popper hablaba de *programas metafísicos de investigación*, y Lakatos lo hacía de *programas científicos de investigación*.

Con el uso de este término [*programas metafísicos de investigación*] quiero llamar la atención sobre el hecho de que en casi todas las fases del desarrollo de la ciencia estamos bajo el dominio de ideas metafísicas, es decir, incontrastables; ideas que determinan no sólo qué problemas explicativos decidiremos acometer, sino también qué tipos de respuestas consideraremos adecuadas (...)

Por otro lado, la discusión crítica de la teoría y de sus resultados puede llevar a un cambio en el programa de investigación (normalmente se trata de un cambio inconsciente, puesto que con frecuencia el programa se tiene de manera inconsciente y se da por sentado), o a su sustitución por otro programa. Esos programas sólo se discuten como tales muy de vez en cuando: con mayor frecuencia están implícitos en las teorías, en las actitudes y en los juicios de los científicos.<sup>111</sup>

Personalmente, no hallo apenas diferencia entre la noción popperiana de “programas metafísicos de investigación” y la de unas “tradiciones de investigación” que se enraízan en tradiciones culturales con *núcleos paradigmáticos* metafísicos y axiológicos. Sobre todo, a la vista de la lista de “ideas y programas metafísicos de investigación en la historia de la física” que Popper mismo suministra, así como de los nexos que reconoce entre programas surgidos en diferentes épocas.<sup>112</sup>

Una conexión entre los programas metafísicos de investigación y los paradigmas es sugerida por Popper mismo (pese a su conocida actitud crítica hacia la célebre noción que introdujo Kuhn) en los siguientes términos:

Tales programas metafísicos de investigación se encuentran por todas partes. Determinan lo que se considera una explicación satisfactoria en cualquier momento de la evolución de un problema científico, o surgen de dicha explicación. Parece que lo que Thomas S. Kuhn iba a llamar “paradigmas” es, de algún modo, similar, aunque naturalmente mi punto de vista es radicalmente distinto del suyo.<sup>113</sup>

---

<sup>111</sup> Los más antiguos de estos programas (cuyos ecos duran siglos, llegando hasta la actualidad) se remontan a los presocráticos. Ver Popper, K., *Post scriptum...*, vol. 3, p. 177.

<sup>112</sup> *ibid*, pp. 176-180.

<sup>113</sup> *ibid*, p. 53.

Para añadir enseguida que ello se debe a que él considera los problemas “en términos de situaciones que pueden ser reconstruidas racionalmente”. Lo que, pienso, no hay por qué cuestionar siempre que se ofrezca una definición satisfactoria del tipo de racionalidad que guía la eclosión de las *intuiciones metafísicas*.<sup>114</sup>

Como pone de relieve Antonio Beltrán en su Introducción a la recopilación de textos que lleva por título *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, el filósofo e historiador de la ciencia Alexandre Koyré (1892-1964) ejerció una influencia considerable sobre Kuhn. Es de notar que en el célebre capítulo 10 de ERC, Kuhn ilustra su concepción de los giros paradigmáticos no sólo mediante la psicología de la *Gestalt* sino también a través de diversos ejemplos tomados de Koyré. Discípulo, este último, de Husserl y de Bergson, se trata –a diferencia de Popper, con cuyos puntos de vista mantiene, no obstante, un paralelismo notable en lo que se refiere a la importancia de la metafísica en el nacimiento de las concepciones científicas– de un filósofo ajeno a la corriente neopositivista. Su idea central es la existencia de un *élan* profundo orientado a la *búsqueda de la verdad*, en el ser humano. A las explicaciones sociológicas y economicistas del desarrollo de la ciencia, Koyré opone otra explicación de corte idealista centrada en la necesidad humana básica de generar síntesis metafísicas, las cuales pasan después a guiar (y a condicionar) la mirada que se dirige al mundo, constituyendo los prismas conceptuales a través de los cuales se construye la ciencia de cada época.

---

<sup>114</sup> El término “intuición” no parece molestar a Popper, que lo utiliza continuamente en el texto a que acabo de hacer referencia.

### 1. 5. *El desafío de la complejidad*

En las últimas décadas, distintos pensadores han estado reflexionando sobre un desafiante rasgo del mundo, que pone de relieve especialmente (aunque no exclusivamente) la naturaleza viva. Se trata del carácter *esencialmente complejo* de las entidades y de los fenómenos, un carácter que enseguida voy a tratar de definir.

Uno de los primeros en llamar la atención sobre este rasgo fue Gaston Bachelard <sup>115</sup>, aunque es el norteamericano W. Weaver quien, en 1948 <sup>116</sup>, trata antes que nadie de fijar con claridad el concepto, al tiempo que identifica las etapas que condujeron a su emergencia. Para entender lo que es la complejidad resulta útil dejar bien clara su diferencia con la “complicación” (o incluso la hipercomplicación): una entidad o proceso es complicado si puede llegar a descomponerse en partes o elementos simples a través de un *modus operandi* (algoritmo de descomposición) largo y engorroso, pero no infinito ni de imposible realización. Un ejemplo de hipercomplicación podría ser el genoma humano y su desciframiento, al menos tal como *mediáticamente* se nos suele presentar. Por el contrario, diríamos que algo es de naturaleza compleja si ningún algoritmo puede llegar a descomponerlo total o satisfactoriamente en elementos simples, y ello sea cual sea la longitud y la sofisticación del algoritmo.

La idea de que existen realidades no analizables (en el sentido que se acaba de exponer) choca con el procedimiento para “avanzar hacia una comprensión clara y distinta” que se defiende en el *Discurso del Método*, así como con la justificación que se da del mismo:

---

<sup>115</sup> Bachelard, G., *Le nouvel esprit scientifique*, P.U.F., Quadrige, París, 1934.

<sup>116</sup> Weaver, W., “Science and Complexity”, *American Scientist*, 36, 1948, pp. 536-544.

- Dividir cada una de las dificultades que se examinan en tantas partes como sea posible, a fin de poder resolverlas mejor.
- Conducir ordenadamente el pensamiento, empezando siempre por los objetos más simples y más fáciles de conocer, para ascender luego paso por paso, gradualmente, hasta el conocimiento de los objetos compuestos.
- Hacer siempre recuentos tan completos, y revisiones tan generales, que se esté seguro de que nada se ha omitido.

Esas largas cadenas de razonamientos, simples y fáciles, de que suelen servirse los geómetras para llevar a buen término sus más dificultosas demostraciones llevan a suponer que todas las cosas que pueden ser objeto del conocimiento humano se siguen unas a otras del mismo modo, y que con tal de abstenerse de dar por verdadera ninguna que no lo sea, y de respetar siempre el orden necesario para poder deducir las unas de las otras, no puede haber cosa alguna tan remota que no se pueda llegar a ella, ni tan escondida que no pueda ser descubierta.<sup>117</sup>

La imposibilidad de aplicar el método cartesiano a unas realidades complejas *sensu stricto* se basa en tres rasgos ontológicos:

1. Todo objeto complejo posee siempre aspectos cualitativos fundamentales que se pierden al dividirlo en partes, de modo que no puede ser conocido de manera completa siguiendo el camino de la descomposición.
2. El análisis desemboca siempre sobre objetos compuestos, nunca sobre objetos “simples y fáciles de conocer”; el análisis lleva, por tanto, a una regresión infinita en la que la complejidad está presente en cada escalón.
3. Las cadenas causales que siguen las “cosas complejas” no son lineales. Más bien son circulares. La ciclicidad retroactiva, *el efecto que es a su vez causa actuante sobre la misma causa que lo produjo*, es el modo más común de organización / funcionamiento que encontramos en la naturaleza viva. Y no sólo en ella: toda realidad autoorganizada lo está sobre la base de ciclos retroactivos, y éstos se acaban revelando como una característica fundamental de un *mundo*

---

<sup>117</sup> Descartes, R., *Discours de la Méthode*, 2<sup>e</sup> partie, Garnier-Flammarion, París, 1966, p. 47.

*sistémico* hecho de “entidades que constituyen otras entidades” (siempre autoorganizadas).

Es por esto por lo que Edgar Morin propone una alternativa al *Método* de René Descartes. Su propia obra titulada *La méthode* tiene por objetivo trazar las líneas generales de un *método de la complejidad* orientado a conocer una naturaleza mucho más “compleja” que “lineal”. El subtítulo del primer tomo (*La nature de la nature*) apunta en esa dirección.

Desde su explícita aceptación de la noción de paradigma (que, por lo demás, profundiza y contribuye a definir<sup>118</sup>), Edgar Morin habla de un *paradigma de la simplicidad* (el cartesiano) y de otro *de la complejidad* que responde al pleno reconocimiento de los rasgos evocados más arriba, junto con algunos otros. El resultado tiene que ser la emergencia –paulatina y por tanteos, lo que es coherente con la visión de la naturaleza en la que se apoya– de una *epistemología compleja* adecuada para dar cuenta de la complejidad misma. Posiblemente los dos rasgos más destacados, y también más sorprendentes, de esta nueva epistemología son: 1. la admisión, e incluso la elevación al máximo rango epistemológico, de ciertas formas de circularidad; 2. una profundización notable de la noción de *contradicción*, en una línea que se podría calificar de “neodialéctica”. Estas dos *rupturas lógico-epistémicas* exigen evidentemente aclaraciones. Lo mejor, en lo que concierne a la primera de ellas, es dar la palabra con la debida extensión a nuestro autor:

Siempre se han roto los círculos [*de proposiciones antinómicas en mutua dependencia*] denunciados como viciosos, sea aislando las proposiciones, sea designando uno de los términos como *principio simple*, al cual se deben remitir todos los demás.(...) Pero esto quiere decir que *romper la circularidad, eliminar las antinomias, equivale precisamente a volver a estar bajo el imperio del principio de disjunción / simplificación del que queremos liberarnos. Por el contrario, conservar la circularidad es rechazar la reducción de los datos complejos a un principio mutilador; es negarse a hipostasiar un único concepto-clave (la Materia, el Espíritu, la Energía, la Información, la Lucha de*

---

<sup>118</sup> Ver *La méthode*, t. 4 (“Les idées”).



*Clases, etc.*)(...) Aparentemente, romper la circularidad restablece la posibilidad de un conocimiento absolutamente objetivo, pero eso es precisamente lo ilusorio... Conservar la circularidad supone, muy al contrario, respetar las condiciones objetivas del conocimiento humano, que siempre esconde en alguna parte paradojas lógicas e incertidumbre.

Conservar la circularidad supone además (por el hecho de mantener la asociación de dos proposiciones que, aisladamente, se reconocen como verdaderas, pero que, al ponerse en contacto, se niegan mutuamente) abrir la posibilidad de concebir esas dos verdades como las dos caras de una verdad compleja; es desocultar la realidad principal, que no es sino la relación de interdependencia entre nociones que la disjunción tiende a aislar o a oponer; y es por tanto abrir la puerta a la investigación de esa misma relación.<sup>119</sup>

La concepción recursivista de Morin apunta, por lo demás, en un sentido inequívocamente naturalizador, por cuanto para el filósofo galo el modelo de una lógica circular productiva (el *círculo virtuoso*) lo suministra, en efecto, la naturaleza: cuando dos flujos opuestos se encuentran, ocurre con frecuencia que, en vez de anularse, se combinan en un bucle de retroacción, a partir del cual se crea una estructura dinámica de notable estabilidad; es así como se forman los remolinos, tanto en medio acuoso como atmosférico. El remolino (maelström, tifón, borrasca...) es, para Morin, el prototipo más sencillo de “motor natural” (*moteur sauvage*) basado en una dinámica circular autosustentadora.

Sin embargo, hay que aclarar que ni el ciclo recursivo que despliega abundantemente la naturaleza (y que imita la cibernética: recordemos los trabajos de Wiener y von Foerster, entre otros) ni la *circularidad productiva* de la epistemología de la complejidad son verdaderos círculos, desde el momento que en ellos siempre existe *apertura* a un medio con el que se intercambia (medio físico en el caso de los ciclos naturales generadores de autoorganización, o conceptual en el de los bucles epistemológicos), y que el punto de llegada no

---

<sup>119</sup> Morin, E., *La méthode*, vol. 1, p. 18.

coincide exactamente con el de partida.<sup>120</sup> Puede hablarse, pues, con mayor propiedad, de una modelización en espiral<sup>121</sup>: la misma, sea dicho de paso, que encontramos continuamente en geología, siendo acaso la forma más conocida de ella la inextricable combinación de la ciclicidad de numerosos procesos con la *flecha del tiempo* (las transformaciones irreversibles) creadora de historia.

En cuanto a la segunda ruptura, se establece a varios niveles, de los que el primero y principal tiene que ver con la constatación de que entre numerosos pares de conceptos “opuestos”, que normalmente provocan tomas de partido filosóficas o ideológicas excluyentes, existe *al mismo tiempo* antagonismo, emulación competitiva y complementariedad. Los ejemplos son incontables. Así, la importantísima dicotomía reduccionismo-holismo es, valga la redundancia, irreductible a uno solo de los dos polos, ya que si bien la descomposición de una entidad-sistema compuesta (y compleja) en sus elementos constitutivos elimina sus propiedades emergentes, desnaturalizándola, esto no significa que tales elementos no existan y que no se obtenga una utilísima información de su recuento y exploración al modo cartesiano. Hasta aquí, todo parece idílicamente complementario. Pero es un hecho que las sensibilidades, tendencias metafísicas y asunciones axiológicas que privilegian la adopción de uno u otro punto de vista son, en la práctica, fuertemente antagónicas, y desde luego ambos posicionamientos compiten socialmente sin tregua y sin que haya, por lo demás, indicios de que el “pulso” vaya a desactivarse. Otros ejemplos son los que constituyen las dicotomías azar-necesidad (relacionada con caos-orden), apertura-

---

<sup>120</sup> No me resisto a citar a Jorge Wagensberg: “Todo hacer científico torna a la línea de salida, es redondo, las últimas frases de un ensayo científico suelen versar sobre las primeras. Cuando el círculo nos sale vicioso significa que el ejercicio ha fracasado; si virtuoso, entonces que ha triunfado. Y el círculo es vicioso cuando el punto de llegada coincide exactamente con el de partida, cuando la definición no logra enriquecerse en ningún sentido. Se trata entonces de un movimiento circular perfecto, y por tanto condenado a la eterna y boba rotación trivial. Un círculo virtuoso, en cambio, no se cierra. El punto de llegada es el principio de otro círculo ligeramente desplazado. Se forma una espiral, hay precesión, hay virtud. Hay ciencia.” (*Ideas sobre la complejidad del mundo*, Tusquets, Barcelona, 1985, pp. 13-14).

<sup>121</sup> Ver Morin, E., *La méthode*, vol. 1, 2<sup>o</sup> par., 2, pp. 182-235.

cierre<sup>122</sup>, pertenencia (solidaridad) - autonomía (libertad), competencia selectiva - simbiosis, etc. En el dominio específico de la ciencia de la Tierra, las dicotomías antagonico-complementarias han sido -y son- numerosas, habiendo jugado -y jugando todavía- una importante función heurística, que no diluye su semblante polémico, en ocasiones muy duro. Se trata de las luchas entre principios reguladores y claves ontológicas que se evocan sobre todo en el capítulo 3, cuyo destacado papel en el desarrollo de la geología reconoce la práctica totalidad de los historiadores de la disciplina.

Pudiendo, de hecho, hablarse de un paradigma de la complejidad, lo cierto es que la epistemología que de él se deriva ayuda (*recursivamente*) a clarificar la noción misma de “paradigma”. La imposibilidad de una definición “clara y distinta” de dicho concepto es reconocida abiertamente por Morin, pero -a diferencia de Kuhn- tal cosa no constituye para él un verdadero problema, entregado como lo está a la tarea de elaborar una alternativa al método analítico de Descartes. Para Edgar Morin, los paradigmas son condicionantes epistemo-psico-sociales no sólo del pensamiento sino también de la praxis (relacional, económico-política, tecnológica, etc.).<sup>123</sup> Fiel a su idea rectora de una *recursividad generativa esencial* en la que se integran dinámicamente complementariedades y antagonismos, Morin se muestra reacio a fijar de manera exclusivista -y excluyente- la determinación ontológica de los paradigmas, situándola

---

<sup>122</sup> *Apertura* de los procesos autoorganizativos al medio del que nacen: su ineludible dimensión ecológica, que por lo demás se halla en el origen de su carácter perecedero. *Cierre* de cada entidad-sistema, que se dota de forma o/y límites definidos.

<sup>123</sup> Para Edgar Morin, como para Kuhn, los paradigmas determinan las visiones del mundo o, lo que es lo mismo, los mundos intersubjetivos. Lo que vuelve especialmente importante el papel de la *disidencia*, sin la cual no se producirían cambios paradigmáticos. La misma es, en parte, de origen natural (la naturaleza “grita” contra ciertas concepciones) y en parte de origen humano, sin que se deba olvidar que existen también recursividades hombre (sociedad)  $\rightleftharpoons$  naturaleza con capacidad de producir disidencia (esto queda tristemente ilustrado por los desastres ecológicos, muy ligados a la praxis que favorece el *macroparadigma* dominante). Tales disidencias originan *modos de mirar* distintos que demandan y promueven nuevos instrumentos de observación, con el resultado final de la expansión de una nueva visión del mundo.

apriorísticamente sea en lo histórico-sociológico, sea en lo puramente psicológico, sea -incluso- en lo biológico. Para él, un paradigma nace como foco nucleador de un prisma cognitivo, a causa de un complejo de factores interrelacionados, de manera que su explicación no puede en modo alguno darse en función de uno solo de ellos. La analogía con algo vivo –siendo la vida el modelo supremo de una *complejidad coherente*– la plantea abiertamente Morin, aunque no deja de reconocer los límites de la metáfora.<sup>124</sup>

La admisión del paradigma de la complejidad no es, ni mucho menos, general; y sobre todo no tiene lugar sin provocar resistencias. J.-L. Le Moigne recuerda, por ejemplo, la alta valoración que Popper concedía al principio epistemológico de simplicidad.<sup>125</sup> Y es que es mucho lo que la complejidad, como posible concepto-clave de la naturaleza y del conocimiento humano, pone en tela de juicio: nada menos que la adecuación de la tradición cartesiana para conocer en profundidad esa misma naturaleza. Y para relacionarse con ella, lo cual es más que “conocer”, ya que presupone la posibilidad de una especie de diálogo (recursivo, justamente).

Tengo, por mi parte, la impresión de que, en el momento actual, este tema de la admisión o no del principio de la complejidad (“desde la misma base ontológica”, y con todo lo que el mismo arrastra) bifurca profundamente la gran empresa científica. Y siguiendo a Le Moigne, que sugiere que el reconocimiento de la dimensión compleja de la naturaleza obliga a recuperar el ideal diltheyano de *inteligibilidad* frente al formalista-instrumental de *explicación y predicción*<sup>126</sup>, hago notar que es precisamente en el marco de las “ciencias de la vida y de la Tierra” (CVT), como muchos llaman ya al conjunto de disciplinas que se ocupan del continuum (*ecosfera*) que forman lo biológico y su matriz planetaria, donde se

---

<sup>124</sup> Morin, E., *La Méthode*, vol. 4, 3<sup>e</sup> par., 3 (“L’arrière-pensée. Paradigmatologie”).

<sup>125</sup> Popper, K., *La lógica de la investigación científica* (trad. fr.: *La logique de la découverte scientifique*, Payot, París, 1973, citada por Le Moigne, J.-L., en “Complexité”, D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, PUF, París, 1999, pp. 206-207).

<sup>126</sup> Le Moigne, J.-L., *op. cit.*, pp. 209-210.

está dando con la máxima nitidez dicha bifurcación, entre una biología molecular cuya imagen pública se asocia, hoy por hoy, con la defensa del reduccionismo, y una geo-bio-ecología que resulta inconcebible sin contar con la noción de complejidad.

Creo necesario dar un paso más, siguiendo el hilo que marca esta última reflexión. Uno de los grandes temas de la filosofía actual es la profundización en el concepto crucial de *razón*. Para muchos este concepto no está fijado de una manera completamente satisfactoria, y en esta línea los pensadores que comparten el paradigma de la complejidad son de los más críticos, y aportan una idea que considero extraordinariamente interesante, y asimismo de la mayor relevancia para la presente tesis: la mayor limitación de la *razón clásica* (lógico-analítica, y guiada por el ideal simplificador) provendría de que su modelo, e ideal, cognoscitivo no contextualiza lo suficiente. *La razón clásica, de tradición cartesiana, no es –por los principios mismos en que se basa– razón ecológica*. Y es esta última, justamente, la que se necesita, la que necesitan perentoriamente una humanidad y un mundo natural envolvente (una Tierra) que hoy recogen las tempestades sembradas por un desarrollo tecnoindustrial que se ha llevado a cabo aplicando exclusivamente una idea de razón separadora y, en consecuencia, descontextualizadora. La alternativa que el paradigma y método de la complejidad propone hoy en día de cara a la reforma (y al mismo tiempo, profundización) del concepto-clave de racionalidad apunta, por tanto, hacia una imprescindible Razón Ecológica.

## Capítulo 1.– Anexo 1

### **La *Gestalttheorie***

No me cabe duda de que el pensamiento se desarrolla en su mayor parte sin el uso de signos (palabras), y además inconscientemente en gran medida. Porque ¿cómo se explica, si no, que a veces nos “asombremos” de modo completamente espontáneo de alguna experiencia? Este “asombro” parece surgir cuando una vivencia entra en conflicto con un mundo de conceptos muy fijado ya dentro de nosotros. Cuando ese conflicto es vivido dura e intensamente, repercute decisivamente sobre nuestro mundo de ideas.

Albert Einstein (*Notas autobiográficas*, Alianza, Madrid, 1992, p. 14)

Interesa dar noticia de una corriente como la de la *Gestalt*, que tanta influencia tuvo, aparentemente, en Kuhn. A finales del siglo XIX, la teoría cognitiva dominante defendía que toda percepción y toda conceptualización se construyen a partir de sensaciones elementales, recibidas a través de los órganos de los sentidos, o recuperadas del almacén de la memoria. Esto llevaba a entender la vida mental como enteramente reducible -y por ende, analizable- en términos de sensaciones puras puntuales que cumplirían en psicología un papel análogo al de los átomos -o las partículas elementales- en física. El psicólogo austríaco Ehrenfels reaccionó contra esta visión, propugnando el carácter sintético tanto de las percepciones como de las “tomas de conciencia” (*insights*). Las *gestalten* (*formas* sintéticas) son, para este psicólogo y para sus continuadores en lo que se conoce como la corriente de la *Gestalt*, como unidades de intuición, tanto perceptual (primariamente) como conceptual (secundariamente). Una forma cualquiera, por ejemplo un triángulo, puede ser analizada disociándola en partes -tres segmentos separados, en nuestro ejemplo-, pero entonces la unidad perceptual (la captación sintética del triángulo como objeto geométrico) se desvanece. Para probar que *el todo es, perceptual y conceptualmente, distinto de la suma de las partes*, Ehrenfels, gran aficionado a la música como buen

austríaco, pone el ejemplo de una melodía que puede ser cambiada de tonalidad –lo que implica la sustitución de todas sus notas– y permanecer, no obstante, perfectamente reconocible, desde el momento que se mantienen las relaciones entre los elementos (en este caso, las notas). Igualmente, un triángulo sigue siendo identificado como tal aunque todos sus lados se cambien de color, de grosor o –manteniendo las proporciones– incluso de tamaño.

La corriente gestáltica clásica, que suele darse por clausurada con el fallecimiento de sus grandes figuras -Koffka, Köhler...- a finales de los años sesenta, se consideraba a sí misma una escuela de psicología, y es así como la definen casi todos los autores que se refieren a ella. La insistencia excesiva en verla solamente como “una corriente de psicología” puede, sin embargo, velar la importante dimensión filosófica que tiene su modo de aproximación a la *toma de conciencia*. Digamos, en primer lugar, que la teoría de la *Gestalt* está claramente entroncada con el movimiento fenomenológico –y no únicamente con la psicología, en notoria ebullición en la época– y ello no sólo por los vínculos intelectuales que ligaban a sus creadores con figuras como Brentano<sup>1</sup>, sino también por ser ante todo la *Gestalt* una *teoría de la percepción*, por mucho que se ocupara también del pensamiento y del significado: de hecho, la filosofía gestáltica identifica explícitamente la toma de conciencia (*insight*) de una *forma* con un modo de intuición, fundamentando así, a la vez experiencial y experimentalmente, la controvertida noción bergsoniana, y sentando, de paso, las bases de una teoría de las raíces preverbales de la cognición que, se diría, recoge ecos de la concepción que expresaba Einstein en sus *Notas autobiográficas*.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ver Dartigues, A., *Qu'est-ce que la phénoménologie?*, Privat, Toulouse, 1972. Ver también: Thinès, G., “Gestaltisme” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 10, pp. 434-439. Georges Thinès considera a Edmund Husserl como uno de los inspiradores de la *Gestalt*, por su insistencia en la necesidad de un momento de percepción unitaria en la génesis del concepto matemático de conjunto (*Philosophie der Arithmetik*, 1891), así como por sus nociones básicas de *momento figural* y *configuración*.

<sup>2</sup> Un interesante artículo, aparecido no hace mucho, desarrolla este punto. Señalan sus autores, O. Gapenne y K. Rovira (“Gestalt Psychologie et cognition sans langage”, *Intellectica*, 28, 1999/1, pp. 229-250), que el atractivo de la teoría de la *Gestalt* se

Digamos también, en segundo lugar, que supone una fuerte apuesta antirreduccionista que se adelantó a su tiempo. En tercer lugar, que implica dar pasos importantes hacia la valorización de determinados conceptos, como los de *estructura* y *entidad holísticamente integrada*, que se han revelado extremadamente fecundos mucho más tarde. Y en cuarto y último lugar, que la fidelidad al axioma fenomenológico de la centralidad de la consciencia del sujeto -que percibe y concibe- no llevó a la *Gestalttheorie* al terreno del idealismo o al del instrumentalismo; pues hay que destacar que, muy al contrario, para los seguidores de la psicología-filosofía de la *Gestalt*, las formas estructurales que despliega ante nosotros la naturaleza (y que podemos, por nuestra parte, imitar a través del arte, tema este especialmente importante, o de otros modos) son, en la mayoría de los casos, el reflejo externo de una ontología, responden a unas *realidades orgánicas* -no únicamente biológicas- que no se dejan reducir a la suma de sus componentes elementales (como tampoco se dejan las percepciones y las ideas). Existe, pues, un evidente parentesco entre la filosofía de la *Gestalt* -que puede ser vista como una fenomenología naturalizada<sup>3</sup>- y la teoría de Sistemas, esbozada en las décadas centrales del siglo último por Ludwig von Bertalanffy entre otros, y cuyas ulteriores derivaciones han acabado por adquirir una importancia considerable.

---

explica, en buena medida, porque apunta a las ineludibles raíces preverbales de la aprehensión cognitiva.

<sup>3</sup> Ver Dartigues, A., *op. cit.*, II.2. (“Phénoménologie et objectivisme: la théorie de la forme”), pp. 41-50.



## Las matemáticas de lo complejo

Nadie –ni siquiera alguien tan alejado de la especialización matemática como el autor de esta tesis– puede permitirse el lujo de ignorar por completo el nacimiento, en las últimas décadas, de una nueva línea de investigación matemática especialmente bien adaptada para ocuparse de la complejidad en todos los ámbitos en que se manifiesta. Se trata de la corriente que representan tres importantes teorías que están, de hecho, conectadas entre sí: la teoría de *atractores*, la de *catástrofes* y la de *fractales*. Daré a continuación noticia brevísima de ellas.

- En una primera aproximación, se entiende por *atractor* el resultado final de la evolución asintótica de un sistema dinámico disipativo, cuando es descrita mediante el análisis diferencial<sup>1</sup>, incluyendo naturalmente dicho resultado la geometría que representa dicha evolución.<sup>2</sup> Por ejemplo, uno de los sistemas disipativos más sencillos, un péndulo con rozamiento, responde a un atractor puntual: el punto (0, 0) en el “espacio de fases”<sup>3</sup>, que representa la detención final de la bola oscilante. Se distinguen varios tipos de atractores, entre ellos los *puntuales* (puntos), los *periódicos* (circunferencias y elipses) y los *extraños*; estos últimos definen con gran frecuencia la

---

<sup>1</sup> Ver, p. ej., Chenciner, A., “Systèmes dynamiques différentiables” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, vol. 21, p. 1067.

<sup>2</sup> En un sistema de coordenadas dado. Al cambiar éste, cambia la representación, pero los rasgos esenciales permanecen como invariantes.

<sup>3</sup> El espacio de fases es el campo de coordenadas en el que se representan los parámetros que definen completamente la dinámica. En el caso de un péndulo, estos parámetros son dos:  $x$  = elongación ;  $y$  = velocidad .

evolución de sistemas no lineales, y asumen formas caprichosas, incluyendo algunas de rara belleza, en el plano o en el espacio.<sup>4</sup>

• La *teoría de las catástrofes*, desarrollada en los años 60 y 70 por el francés René Thom con la colaboración del británico Christopher Zeeman, es considerada por su creador como un punto de vista matemático sobre el origen ideal de las formas, es decir, sobre la *morfogénesis*.<sup>5</sup> El término “catástrofe” significa aquí *transición repentina de un cierto tipo de estabilidad a otro*, y aunque no se aplica sólo a las verdaderas catástrofes (de cualquier clase), sí que las engloba.

Las siete “catástrofes elementales”, o modos geométricos de cambio brusco, identificadas por Thom, encuentran aplicación precisamente a la hora de estudiar los basculamientos repentinos de una *cuenca atractor* a otra, el paso de un modo de estabilidad definido por la orientación hacia un determinado atractor formal, a otro determinado por un atractor distinto. Thom considera aplicable su teoría a un amplísimo conjunto de fenómenos: como una *teoría de modelos*, que es como él la concibe, la teoría de las catástrofes se aplicaría, por ejemplo en psicología, a la formalización de los *cambios perceptivos* (o “clics”) *gestálticos* (fig. 1). Woodcock y Monte Davis dicen en su libro *Teoría de las catástrofes*:

Todos hemos tenido la experiencia de que la solución de un problema molesto nos saltase a la mente, o la de recordar un nombre que un momento antes teníamos en la punta de la lengua. También esos cambios repentinos pueden representarse en una *superficie de catástrofe* donde los procesos mentales más comunes, de “paso a paso”, siguen cursos suaves. (...)

La teoría de catástrofes es quizá más compatible en espíritu con la psicología gestáltica que con las otras, porque se centra en la totalidad y la estabilidad de los procesos mentales,

---

<sup>4</sup> También hay atractores en espacios de fase de más de tres dimensiones, obviamente no visualizables.

<sup>5</sup> Thom, R., *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Ediscience, París, 1973.

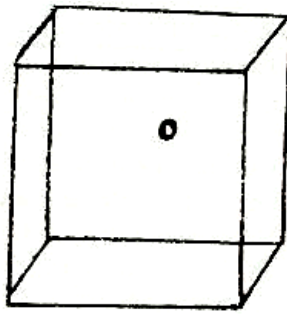


Figura 1. *Cubo de Necker* (¿en qué cara está el punto?)

en nuestra capacidad de reconocer un objeto cuando lo vemos desde un ángulo distinto...<sup>6</sup>

Parece evidente que esta innovadora teoría matemática (que René Thom caracteriza como más cualitativa que cuantitativa) puede ser de especial interés en geología.<sup>7</sup> Tenemos, por una parte, una problemática geológica muy concreta, e históricamente recurrente, basada en el binomio estabilidad-ruptura; y están, por otra, esos puntos de vista férreamente contrapuestos, esas dicotomías, que jalonan la historia de la ciencia de la Tierra, y que han acabado revelándose, en no pocas ocasiones, complementarios (es justamente el caso del *uniformitarismo o gradualismo*, y el *catastrofismo*).

- Los *objetos fractales* son representaciones gráficas de ciertas funciones, que repiten a infinitas escalas un mismo motivo geométrico, desde muy sencillo hasta extremadamente complejo. Los fractales han sido popularizados por Benoît Mandelbrot<sup>8</sup>, y su mayor interés estriba en que se los encuentra por todas partes en la naturaleza. En las realidades estudiadas por las ciencias de la vida y de la Tierra,

---

<sup>6</sup> Woodcock, A. & Monte Davis, *Teoría de las catástrofes*, Cátedra, Madrid, 1986, pp. 173-174.

<sup>7</sup> De hecho, el mismo René Thom lo cree así. “Recientemente -ha dicho- he publicado algo sobre la tectónica de placas, en donde he interpretado las líneas de discontinuidad de la simetría de la corteza terrestre como un lugar de catástrofe [*en el sentido de la teoría de ese nombre*], proporcionando un principio bastante parecido al principio de las *catástrofes elementales*.” (Thom, R., *Parábolas y catástrofes*, p. 137).

<sup>8</sup> Ver Mandelbrot, B., *Los objetos fractales*, Tusquets, Barcelona, 1988.

principalmente, pero no sólo, ya que se ha señalado que el universo en su conjunto posee una estructura de tipo fractal inducida por la gravitación a escala astronómica (centros de gravedad y ciclos orbitales a niveles múltiples). De todos modos, es en biología, geología y meteorología donde más fractalidad encontramos: de las arborescencias de los vasos sanguíneos, el sistema nervioso o los verdaderos árboles, a la repetición –a todos los tamaños– de las mismas formas concrecionadas en una coliflor, la superficie de las nubes o los depósitos hidrotermales, pasando por las líneas de costa abigarradas, las *ciencias naturales* clásicas despliegan ante nosotros una colección prácticamente ilimitada de formas fractales.

Estas tres aproximaciones modelizadoras parecen apuntar a un “nuevo espíritu matemático” –parafraseando el *nuevo espíritu científico* de Bachelard– que se estaría incubando, y que justifica que haga referencia a las matemáticas pese a no creer, personalmente, en la suficiencia cognitiva del *pensamiento ciego* leibniziano.<sup>9</sup> Justamente, un rasgo esencial de la nueva corriente sería el romper con la tradicional “ceguera matemática”, reivindicando nuevamente el valor de unos modelos geométricos cuya visualidad no puede obviarse. Al mismo tiempo, la insistencia de René Thom en el carácter cualitativo de su teoría de modelos contradice “desde dentro” la imagen acostumbrada del universo matemático.

---

<sup>9</sup> Leibniz denomina *pensamiento ciego* a la clase de actividad mental permitida por el “alfabeto matemático de los pensamientos humanos” que estaría llamada a ser su *característica universalis* (*Ars Combinatoria*, 1666). Obviamente, “ciego” evoca ausencia de imágenes, y en tal ausencia reside, en principio, una de las claves principales del formalismo matemático moderno.

## Capítulo 2. La interrogación sobre la Tierra, de la Antigüedad a 1780

### 2. 1. Dos mitos de la Tierra

Mucho antes de iniciar cualquier forma de reflexión crítica -fuera ésta filosófica o científica- el hombre intentaba ya, sin duda, entender su medio vital. Instalado “desde siempre“ (es decir, desde antes de ser plenamente humano) en el vivir, en el vivenciar, actividad primaria que claramente precede al pensar, el homínido debió distinguir muy pronto su propio cuerpo, sede fenoménica de su identidad<sup>1</sup>, de los demás cuerpos distintos del suyo, referenciales de alteridad. Más tarde, siguiendo un temprano impulso generalizador, se hizo consciente del ámbito que contenía todos los cuerpos accesibles, la “Tierra”, contraponiéndolo al “Cielo”, segundo ámbito del mundo, que poblaban cuerpos visibles pero inaccesibles y dotados aparentemente de propiedades distintas de los terrestres. El despliegue poético de esa remota clasificación experiencial del medio natural dio origen a mitologías centradas en la creación y en la constitución del mundo. Las más conocidas entre nosotros son dos: el relato bíblico del *Génesis*, y la *Teogonía* griega de Hesíodo.

Es curioso observar que estas dos influyentes mitologías de Occidente contienen dos visiones contrapuestas de la Tierra. El Génesis, y en general el monoteísta Antiguo Testamento, presenta la Tierra como un escenario pasivo creado por Dios, en cuyo marco El despliega su poder (creador o destructor), y se desarrolla la peripecia de su

---

<sup>1</sup> Experimentos recientes han puesto de relieve que la experiencia de la autoidentidad ya aparece en los grandes simios, que dan muestras inequívocas de reconocerse en su imagen reflejada en el espejo.

criatura elegida, el hombre. Para la narración hesiódica, en cambio, la Tierra (Gaia o Gea) es una divinidad primordial, la Gran Diosa Madre, nacida directamente del Caos, junto a su hermano Eros (Deseo) y las tenebrosas Nyx (Noche) y Erebo.<sup>2</sup> Ella no es, pues, tan sólo el lugar que habitan los dioses y los hombres, sino que constituye una entidad personalizada que protagoniza varios episodios míticos fundamentales e interviene en muchos otros. Numerosos estudios antropológicos y de religiones comparadas muestran que el mito de una Diosa Madre primordial, identificada con la Tierra, se encuentra ampliamente extendido por todo el mundo, de modo que cabe considerar la Gaia de la *Teogonía* como el eslabón helénico de una larguísima cadena de concepciones animistas de la Tierra como deidad maternal.<sup>3</sup>

Estas dos antiguas concepciones míticas de la Tierra son, a mi modo de ver, el sustrato remoto de dos tradiciones científicas a las que me referiré más adelante. Esta afirmación, de apariencia osada, no sorprendería seguramente a Karl Popper, quien señaló que en el origen de toda aproximación científica a cualquier aspecto del mundo se encuentran tanto “datos” como “mitos”, conjeturas imaginativas que sólo la ulterior contrastación con la naturaleza misma puede refutar o, provisionalmente, corroborar.<sup>4</sup> Hacia ahí apunta igualmente Anthony Hallam, filósofo kuhniano de la ciencia que ha hecho una importante contribución al análisis crítico de la historia de la geología, cuando dice, refiriéndose a la etapa inicial de la ciencia geológica:

La creación de un “mito” científico acerca de la Tierra como un todo fue un avance importante sobre la tradición de tratar aisladamente de los variados objetos minerales y de los caracteres geomorfológicos, y el hecho de que se pusiera menos énfasis que tiempos después en las comprobaciones experimentales no disminuye la importancia de esta fase para el progreso de la geología.<sup>5</sup>

---

<sup>2</sup> Hesíodo, *Teogonía* 116-123, Visión Libros, Barcelona, 1986, p. 19.

<sup>3</sup> Ver, p. ej., Eliade, M., *Tratado de Historia de las Religiones*, capít. VII, Instituto de Estudios Políticos, Madrid, 1954.

<sup>4</sup> Ver Popper, K., *Conjeturas y refutaciones*, 1ª parte, Paidós, Buenos Aires, 1965.

<sup>5</sup> Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, Labor, Barcelona, 1985, p. 1.

Volviendo a los orígenes del pensamiento occidental, diremos que el mito griego de Gaia, asumido –en su esencial finalismo– por Aristóteles, refleja la metafísica pan-vital y pan-psíquica que tan presente estaba en la Antigüedad clásica y que se resume perfectamente en la imagen paradigmática del *ser vivo* o el *organismo*. Por su parte, la visión bíblica de la Tierra como mero escenario pasivo y, como tal, completamente inerte, “muerto”, refleja del modo más nítido la dualidad Yahvé – creación, y sugiere la imagen paradigmática de *una inmensa extensión inmutable* (¿el desierto del Éxodo?). Otra imagen podría ser la *cuenca* (o el *cuenco*) en que se producen “precipitaciones y precipitados”.

De todos modos, las dos imágenes paradigmáticas que directamente dimanarían de las dos grandes tradiciones antiguas que sustentan la cultura de Occidente, no son las únicas que se descubren cuando se explora el trasfondo metafórico (o paradigmático, en el sentido original de remitir a alguna referencia analógica “simple”) de las múltiples concepciones de la Tierra que han surgido a lo largo de la historia, y especialmente desde que nuestro planeta pasó a ser objeto de indagación racional. La *máquina* aparece claramente como el tercer objeto paradigmático. Este referencial, producto de la radicalización del dualismo que (en combinación con el ascenso del utilitarismo) sobrevino en el siglo XVII, responde al cien por cien a la cosmovisión moderna. No es, por ello, de extrañar que haya inspirado buena parte de las “teorías de la Tierra” que se han propuesto desde que Descartes mismo dio a conocer la suya. Decimos de todos modos “buena parte de las teorías”, pero no todas, ya que también ha habido -y hay- teorías de la “Tierra-escenario” y teorías de la “Tierra-organismo”.

## **2. 2. Visiones grecolatinas**

El mito hesiódico de una Tierra (*Gaia*) anterior a los mismos dioses y al Cielo (*Uranos*) de quien era a la vez madre y amante, influyó sin duda en la mayoría de los pensadores que se interrogaron, en la Antigüedad clásica, sobre la edad, el origen, los posibles cambios y la posición en el cosmos de nuestro hogar planetario. La esfericidad de la Tierra fue reconocida por la mayoría de los pensadores de la antigua Grecia, si bien no por todos, admitiéndose también mayoritariamente que ocupaba el centro del universo. No obstante, los filósofos de la escuela pitagórica, a partir de Filolao (siglo V a. de JC), defendían la presencia en el lugar central del cosmos de un núcleo de fuego distinto del Sol, que giraba en torno a él al igual que la Tierra misma, reducida, en consecuencia, a la condición de astro. Nicolás Copérnico se refirió a este extraño modelo de la Antigüedad para dejar constancia de que él no era el único en afirmar que la Tierra no está en el centro.<sup>6</sup> Pienso, sea dicho de paso, que caben dudas razonables en cuanto a que la distinción entre el “fuego pitagórico” central y el astro rey estuviera totalmente clara en la Grecia del siglo IV a. C., a la vista de un sorprendente comentario de Aristóteles: “En efecto, afirman [*los pitagóricos*] que en el centro hay fuego, y que la Tierra, que es uno de los astros, al desplazarse en círculo alrededor del centro, produce la noche y el día.”<sup>7</sup> Pues resulta un poco difícil admitir que alguien haya podido creer alguna vez que un foco ígneo diferente del Sol –que ostensiblemente sale y se pone– sea la causa de la alternancia día-noche.

Es admirable, por lo demás, la intuición de Anaximandro (siglo VI a.C. ) de una Tierra central que no precisa de soporte material alguno para flotar en un espacio en el que ninguna dirección está privilegiada. La “equivalencia” o “indiferencia” (*homoióteta*) consiguiente basta para mantenerla en su posición, aunque sorprendentemente este filósofo jónico creía en una Tierra cilíndrica. Platón (427 – 347 a.C.) asume, en el *Fedón*, la concepción de una Tierra, ahora esférica, que “flota”

---

<sup>6</sup> Copérnico, N., *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Prefacio, 4-5, Editora Nacional, Madrid, 1982, pp. 93-94.

<sup>7</sup> Aristóteles, *Acerca del cielo*, II, 20, Gredos, Madrid, 1996, p. 144.



sin apoyarse en ninguna parte, poniendo en boca de Sócrates las siguientes palabras: “Si está [*la Tierra*] en medio del cielo siendo esférica, para nada necesita del aire ni de ningún soporte semejante para no caer, sino que *es suficiente para sostenerla la homogeneidad del cielo, en sí idéntica en todas direcciones, y el equilibrio de la Tierra misma*. Pues un objeto situado en el centro de un medio homogéneo no podrá inclinarse ni más ni menos hacia ningún lado, sino que, manteniéndose equilibrado, permanecerá inmóvil.”<sup>8</sup>

Aristóteles (384 – 322 a.C.), como es bien sabido, sí que privilegiaba ciertas direcciones, las orientadas a los “lugares naturales” de los cuatro elementos terrenales<sup>9</sup>; pero al ser las mismas radiales (*hacia el centro* es “abajo”, *hacia la periferia de la esfera cósmica* es “arriba”), la Tierra seguía sosteniéndose inmóvil, sin apoyatura alguna, en el centro de un cielo “esféricamente indiferente”, de modo que la intuición anaximándrica quedaba preservada.

No mucho después de Aristóteles, Aristarco de Samos (h.310 – h.230 a.C.) propuso en Alejandría la primera hipótesis inequívocamente heliocéntrica, según la cual la Tierra era desde luego un planeta, que orbitaba –como los otros– en torno al Sol y poseía, además, movimiento de rotación. Las razones aducidas por este predecesor de Copérnico no lograron convencer a sus contemporáneos: la Tierra no podía ser, en modo alguno, un planeta, un  *cuerpo celeste*, siendo como es el reino de lo percedero y corruptible.<sup>10</sup>

Trescientos años después de Aristarco, el también alejandrino Claudio Ptolomeo (h.100 d.C. – h.170 d.C.) sistematizó la concepción geocéntrica del mundo, que negaba explícitamente –conviene subrayarlo– que el globo de la Tierra fuera un planeta.

---

<sup>8</sup> Platón, *Fedón* 108e – 109a, Gredos, Madrid, 1986, p. 126.

<sup>9</sup> El fuego, el aire, el agua y la tierra. Pero existía un quinto elemento, el celeste “éter” del que estaban formados los astros. Ver Rioja, A. & Ordóñez, J., *Teorías del universo*, vol. I, Síntesis, Madrid, 1999, p. 53.

<sup>10</sup> *ibid.*, pp. 87-88.

De este bajo mundo –de lo que hoy sabemos que es el *planeta Tierra*<sup>11</sup>– y de lo que en él ocurre, ya se había ocupado largamente Aristóteles en los *Meteorológicos*. En dicho libro, el estagirita postula un mundo terrenal concéntrico al cielo y estructurado en cuatro regiones “elementarias” igualmente concéntricas (aproximadamente), en cuyo centro se encuentra la Tierra *sensu stricto* –identificada con el lugar propio del elemento de su mismo nombre– sobre la cual se despliega un ciclo auténticamente geológico sin principio ni fin. Leemos en *Meteorológicos*:

...Por eso cambian también la tierra firme y el mar, y no siempre una parte permanece todo el tiempo como tierra y otra parte como mar, sino que nace un mar donde había tierra seca y donde ahora hay mar habrá de nuevo tierra. No obstante, hay que pensar que esto se produce con arreglo a cierto orden y periodicidad. El principio y la causa de esto es que las zonas interiores de la Tierra, como los cuerpos de las plantas y de los animales, tienen también su madurez y su senectud.(...) Pero, debido a que todo cambio en la naturaleza de la Tierra se produce gradualmente e implicando lapsos de tiempo desmesurados en relación a nuestra vida, estos procesos pasan inadvertidos.

Puesto que necesariamente se ha de producir un cierto cambio en el universo, *aunque no su generación y destrucción, ya que el todo permanece*, es forzoso, tal como decimos nosotros, que los mismos lugares no estén siempre mojados por el mar y los ríos, ni siempre secos.<sup>12</sup>

Aunque las concepciones cosmológicas y geológicas eternalistas de Aristóteles no alcanzaron un desarrollo comparable a las de su física, y estaban supeditadas en buena medida a estas últimas, no son menospreciables en modo alguno. Pienso, a la vista de diversos pasajes de los *Meteorológicos* (sin olvidar, por supuesto, las partes de la obra que tratan de temas hidrológicos: del mar y su salinidad, de los ríos, del ciclo del agua, etc.) así como de otros escritos suyos (ver capítulo 3), que tiene pleno sentido hablar de una geología aristotélica. En todo caso, las opiniones del inmortal

---

<sup>11</sup> Y no sólo lo sabemos: lo tenemos tan profundamente interiorizado que nos cuesta trabajo entender que la Tierra haya podido ser vista alguna vez como “otra cosa”.

<sup>12</sup> Aristóteles, *Meteorológicos*, I, 14, Gredos, Madrid, 1996, pp. 294-295 y 299.



Figura 2. El Mundo concéntrico, según Aristóteles

filósofo sobre la dinámica terrestre tuvieron gran influencia hasta la entronización del cristianismo, que –pese a su recuperación de Aristóteles al final del Medievo– históricamente nunca aceptó la noción de una Tierra y un universo eternos, que choca frontalmente con el modelo bíblico.

También en los *Meteorológicos*<sup>13</sup>, Aristóteles polemiza con su maestro, Platón, quien tenía una visión “húmeda” del interior de la Tierra basada en una interpretación particular del mito del Tártaro (entidad mitológica primordial que, sin dejar de mantenerse autónoma, se identifica con las entrañas de Gaia, según Hesíodo<sup>14</sup>). Platón sostiene, efectivamente, en el *Fedón*<sup>15</sup> que el oscuro Tártaro, y no el mar, es el gran depósito abisal de las aguas, por lo que constituye el origen de todos los ríos, lagos y mares, así como del océano mismo. Esas “aguas inferiores”, en las que Aristóteles no creía, habían de reaparecer veinte siglos más tarde en los modelos telúricos de Burnet, Whiston y Woodward.

Aristóteles no fue el único en postular, en los tiempos antiguos, la invasión y retirada periódicas del mar de las tierras hoy emergidas. No ya la fidelidad a algún mito

<sup>13</sup> *ibid.*, II, 2, 356a-356-b, pp. 311-313.

<sup>14</sup> Hesíodo, *Teogonía*, 116-120, 720-728, 736-745, edic. cit., pp. 19, 65 y 66-67.

<sup>15</sup> Platón, *Fedón*, 112a-113c, edic. cit., pp. 131-133.

sino la observación empírica de un “hecho bruto” en extremo sorprendente (la presencia de conchas y otros restos fósiles lejos del mar) llevó a no pocos pensadores precristianos a apostar por la dinamicidad del mundo terrestre, que no puede mantener siempre los mismos rasgos que tiene hoy en día. Citemos a Herodoto, que fue el primero en mostrar asombro al constatar que “en las montañas más altas de Egipto, se encuentran conchas marinas”, a Plutarco y Estrabón que confirmaron y enfatizaron esas observaciones, y especialmente al gran poeta latino Ovidio (43 a. JC – 17 d. JC) quien, en sus *Metamorfosis*, ponía en boca de Pitágoras diversas referencias a cambios y mutaciones en la naturaleza: “Antisa y Faros, así como la fenicia Tiro, estuvieron antes rodeadas por las olas: ninguna de ellas es ahora isla. Léucade era continental cuando la ocupaban sus antiguos habitantes: ahora la circundan las aguas...”<sup>16</sup> El historiador actual de la geología F. Ellemerger (de la Universidad de París Sur / Orsay) destaca, por su parte, el siguiente párrafo: “Yo he visto ser mar lo que en otro tiempo había sido firmísima tierra; yo he visto tierras formadas a partir de las aguas; conchas marinas han quedado en tierra, lejos del ponto, y se ha encontrado también una vieja ancla en la cima de una montaña; lo que era campo, la esorrentía de las aguas lo ha convertido en valle, y una inundación ha hecho rebajarse un monte al nivel de la líquida llanura.”<sup>17</sup> Obsérvese, sin embargo, la referencia a esa “vieja ancla”, que parece excluir la atribución de una antigüedad fabulosa a los restos hallados.

Hacia una *gestalt* diferente apuntaba, no obstante, Lucrecio. Al menos, en opinión de Vincent Deparis, otro notable investigador, de hoy mismo, de la historia de las ciencias de la Tierra, según el cual:

[*Lucrecio*] opone la alternativa de una formación progresiva [*del mundo*] a partir de un caos primitivo. El globo terráqueo habría nacido por “decantación” de una especie de cieno primordial, de suerte que la tierra, en virtud de su mayor peso, se compactó en el centro, con el agua del mar por encima, el aire sobre ambos elementos, y finalmente el éter con sus

---

<sup>16</sup> Ovidio, *Metamorfosis* XV, 287-291, CSIC, Madrid, 1983, vol. III, p. 178.

<sup>17</sup> *ibid.*, 262-268, vol. III, pp. 176-177.

fuegos.<sup>18</sup>

No habría, pues, cambios más o menos cíclicos, sino más bien un período constructivo único.

El pluralismo en que se tradujo la tradición filosófica que nació en Grecia alrededor de quinientos años antes de nuestra era, tuvo pronto su reflejo en las ideas acerca del origen y la evolución de la Tierra y del cosmos (del todo inseparables en un modelo del universo centrado en el hábitat del hombre). La escuela estoica, fundada en Atenas por Zenón de Citio (h.335 – h.264 a. de JC), no percibe en la Naturaleza, como Aristóteles (o como Hutton, Lyell y Lovelock, mucho más tarde), señales de reparación orgánica continuada, sino más bien los signos opuestos de un deterioro irreversible. Sin embargo, Gabriel Gohau nos recuerda que los filósofos de esta corriente no creían en un mundo creado de la nada en un acto único y destinado a perecer de una vez por todas, sino en un cosmos cíclico: la actual degradación terrena –apreciable en los rasgos ruiniformes de las montañas y los acantilados– se ha producido infinitas veces antes y se repetirá infinitas otras en el futuro; pero después de su actual decadencia, el mundo renacerá. Hay para los estoicos –dice Gohau– “un eterno retorno de los seres y de los acontecimientos.”<sup>19</sup> Y uno no puede evitar pensar que Nietzsche debió de beber en esas fuentes, sabiendo que Nemesio, un discípulo de Zenón, aseguraba que “habrá nuevamente un Sócrates y un Platón (...), y esta restauración no se producirá una sino muchas veces, pues todas las cosas serán restauradas eternamente.”<sup>20</sup> Prescindiendo de la literalidad del eterno retorno estoico, lo cierto es que estamos ante una ciclicidad de tipo maquinal (¿el “movimiento continuo”?) que responde a un paradigma no muy distinto del que –contando, eso sí, con un *Deus ex machina*– habría inspirado a Thomas Burnet, según Gould<sup>21</sup>; estamos

---

<sup>18</sup> Deparis, V., “Terre” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, p. 930.

<sup>19</sup> Gohau, G., *Une histoire de la géologie*, Le Seuil, París, 1990, p. 22.

<sup>20</sup> cit. por Gohau, G., *op. cit.*, p. 22.

<sup>21</sup> Ver Gould, S.J., *op. cit.*, cap. 2.

ante un modelo cuyos puntos de discontinuidad implican la ocurrencia de catástrofes y de renacimientos (“catástrofes” positivas).

### **2. 3. De la tradición bíblica a la Edad Media**

Ya se han esbozado los rasgos de la concepción de la Tierra que está implícita en la tradición que se basa en el Antiguo Testamento, rasgos que se resumen en la imagen de una “Tierra-escenario”. Releyendo los primeros versículos del *Génesis*, me llama poderosamente la atención el panorama cosmogónico que presentan. Permítaseme citarlos una vez más:

En el principio creó Dios los Cielos y la Tierra  
Y la Tierra estaba desordenada y vacía, y las tinieblas estaban sobre la faz del abismo, y el Espíritu de Dios se movía sobre la faz de las aguas.  
Y dijo Dios: «Que la luz sea». Y fue la luz.<sup>22</sup>

Se suele decir que la creación bíblica comienza el Primer Día con el *Fiat Lux*, pero ya vemos que no es así: está la creación *previa* del Cielo y la Tierra. Sólo que *después no hacen nada*; meros espacios, *topoi*, se limitan a esperar que se despliegue en ellos la creación “propiamente dicha”. ¡Qué diferencia con la pareja formada por Urano y Gaia! Animados, es más, *origen de toda vida*, éstos; inertes, aquéllos...

En lo que se refiere a la narración del Diluvio –imposible de eludir en el momento de pasar revista histórica a los *grandes mitos* de la Tierra– conviene subrayar que no es exclusivamente hebrea, puesto que posee antecedentes mesopotámicos (*Gilgamesh*) y

---

<sup>22</sup> *Génesis* I, 1-3, Sociedad Bíblica, Londres, 1957.

tampoco es extraña a los mitos griegos (el *diluvio de Deucalión*, al que aluden Platón<sup>23</sup>, Aristóteles<sup>24</sup> y Ovidio<sup>25</sup>, entre otros). Una posible explicación de la multiplicación de mitos diluvianos en la Antigüedad sería la memoria remota de las grandes inundaciones que debieron sobrevenir al finalizar la última glaciación, hace algo más de 10 000 años, por efecto de un cambio climático al parecer bastante rápido. Es de notar que resonancias diluviales –y quizá una explicación análoga– las tiene también el mito platónico de la Atlántida<sup>26</sup>, con la diferencia de que en el legendario hundimiento de aquella isla “mayor que Libia y Asia [*Menor*] juntas”, la Tierra –convulsionada por violentos terremotos– juega un papel activo, en vez de comportarse como un simple receptáculo de las aguas que caen del cielo.

La actitud del mundo hebreo antiguo ante el Ser no era propiamente de interrogación. El peso de un monoteísmo personal y “legislativo”, focalizado en un Señor poderoso y temible –más que amoroso– del que cualquier componente de ambigüedad está ausente, condicionó grandemente el que, al menos con anterioridad a la Diáspora, en dicho mundo sólo hubiera lugar para la *exégesis* y el *profetismo* (o alternativamente, la condenable *transgresión* idolátrica), sin espacio para la *filosofía*, que implica duda asumida y búsqueda autónoma. El contraste entre los mundos helénico y hebreo antiguo es, en este aspecto, enorme: el politeísmo griego enfatizaba la *multiplicidad fluente* de los relatos, el *simbolismo* (aceptable, e incluso postulado, para los mitos), la *indefinición temporal* y la *ambigüedad* (puesta de manifiesto en la conducta de los dioses); el monoteísmo ponía, al contrario, el acento en la *unicidad divina*, la *fijación* de lo creado y de lo revelado, la *literalidad doctrinal*, la estricta *historicidad del relato* y la *rigidez moral y legal*.

El cristianismo supuso, pese a todo, un giro. Mucho más en contacto con la cultura grecolatina –y, quisieran o no, impregnados de ella–, sin especiales condicionamientos

---

<sup>23</sup> Platón, *Timeo* 22b, edic. cit., p. 163.

<sup>24</sup> Aristóteles, *Meteorológicos* 352a, 32-35, edic. cit., p. 298.

<sup>25</sup> Ovidio, *Metamorfosis* I, 260-348, edic. cit., vol. I, 17-21.

<sup>26</sup> Platón, *Timeo* 24-25, edic. cit., pp. 167-168..

nacional-étnicos, los pensadores cristianos de los primeros siglos no podían ser inmunes al conflicto entre los dos *pilares culturales* sobre los que se asentaban. Por eso pudo haber una filosofía cristiana. Ahora bien, los filósofos del cristianismo temprano trataban de pensar libremente (“a la griega”) sobre temas de una revelación (de tradición hebrea o ya específicamente cristiana) que era de creencia obligada. Notemos que ni los griegos ni los romanos estaban obligados a *creer* en sus mitos, aunque sí a respetar los ritos externos; la prueba de ello está en los abundantes testimonios de pensadores antiguos que manifestaban abiertamente su escepticismo filosófico.

Numerosos fueron, pues, los filósofos cristianos que se propusieron “demostrar” el Diluvio. Pusieron manos a la obra en el siglo IV, y siguieron empeñados en ello ¡hasta *por lo menos* el siglo XIX! De todos modos, en ese larguísimo período hubo diferentes fases, unas más marcadas por el afán de encontrar sostenes racionales y empíricos de aquel relato convertido en dogma, y otras en las que predominaron especulaciones generales sobre la Tierra poco condicionadas por la ortodoxia religiosa. Si hubiera que establecer un cuadro cronológico aproximado, diríamos que en la época de la patrística, cuando los nuevos filósofos cristianos polemizaban con los paganos, interesaba sobre todo aportar pruebas del Diluvio; que en plena Edad Media, dejados atrás los “siglos oscuros” (VI-XI), la especulación filosófico-geológica volvió con fuerza, prolongándose esa situación hasta el Renacimiento; que el biblismo pasó de nuevo a centrar los escritos sobre la historia y la estructura de la Tierra –eso sí, en pugna y a veces también en curiosa combinación con visiones heterodoxas– en el siglo XVII; y que permaneció –cada vez más enfrentado a las reflexiones independientes sobre la Tierra, que se iban orientando hacia el nacimiento de la geología científica– a lo largo del XVIII. Tanto este siglo como el XIX (en su totalidad, si consideramos los aspectos geológicos de la teoría de la Evolución) enmarcan una áspera confrontación entre los “geo-biblistas” y los nuevos científicos de la Tierra. Por mucho que este enfrentamiento se haya podido exagerar –o hasta, como veremos, manipular–, negarlo sería absurdo.

Antes de iniciarse en el Occidente cristiano la recuperación de las obras de los



filósofos antiguos, y de reanudarse a partir de ahí una reflexión autónoma que había quedado largamente en suspenso, tales cosas ya habían tenido lugar en dos importantes focos culturales del Islam temprano: Al-Andalus y Oriente Medio. En esta última zona, concretamente en Basora, surgió en el siglo X un grupo filosófico-místico denominado *Ihwan Al-Safa* (Hermanos de la Pureza) en cuyo seno se elaboraron concepciones sobre la dinámica terrestre extraordinariamente lúcidas, centradas en los procesos de erosión, arrasamiento y elevación de nuevas montañas, que anticipaban en ocho siglos el ciclo geológico de Hutton. Ellemerger ha llamado la atención sobre este sorprendente núcleo cultural, al que se debe el siguiente texto citado por él:

Has de saber, hermano mío, que estos lugares cambian y se transforman a lo largo de las diferentes épocas; las regiones montañosas se convierten en campos y en desiertos; los campos se transforman en mares, estanques y ríos; los mares se mudan en montañas, colinas, ciénagas, zonas de monte bajo y arenas; las regiones prósperas se arruinan y las ruinas pasan a ser lugares de prosperidad.(...)

Has de saber, hermano mío, que (...) las montañas se quiebran, en particular bajo el efecto de las tempestades, y se convierten en rocas y en piedras, e incluso en pequeños cantos y en arena. Luego, las lluvias y las torrenteras depositan esas rocas y esas arenas en los cauces de los ríos, y la fuerza de sus corrientes transporta todo eso hacia los mares, los estanques o las zonas pantanosas. Luego, los mares, a causa de la fuerza de las olas, de la intensidad de su agitación y de su continua movilidad, depositan esas arenas, esas arcillas y esos cantos en sus fondos, capa por capa [*Safan ala Safin*], en el curso del tiempo y a través de las épocas. Después esas capas se amontonan unas sobre otras, y es así como, en el fondo de los mares, se forman y se levantan montañas y colinas, lo mismo que se amontonan por efecto del viento los montículos de arena en el desierto.(...)

El agua las cubrirá entonces, y todo ello se extenderá a lo largo de las edades hasta que los lugares que eran tierras se conviertan en mares, y los mares se vuelvan regiones secas y áridas. Y las montañas volverán, después, a romperse y a transformarse en piedrecitas, gravillas y arenas que los torrentes que vienen tras las lluvias depositarán y enseguida transportarán hasta los ríos, que a su vez las llevarán al mar donde de nuevo se acumularán, como ya hemos indicado. Luego, las [*nuevas*] altas montañas se rebajarán y disminuirán de altura, hasta alcanzar el mismo nivel que la superficie terrestre.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Reproducido por Ellemerger, F., *Histoire de la Géologie*, t. 1, Tec & Doc – Lavoisier, París, 1988, pp. 78-80.

Es difícil no percibir aquí un eco de las ideas que Aristóteles había expresado en *Meteorológicos* trece siglos antes. En la floreciente Basora del primer cambio de milenio de la era cristiana, tales ideas eran desde luego conocidas.

Hacia la misma época, el iraní Avicena propuso otra hipótesis sobre la formación de las montañas, viendo su causa en la misma fuerza interna terrestre que causa los terremotos.<sup>28</sup> Se anunciaba, una vez más, la futura polémica entre uniformitaristas y catastrofistas.

El siglo XIII europeo contempla un renacimiento notable de las especulaciones geológicas. Siguiendo las huellas de los filósofos de la Antigüedad, algunos pensadores se interrogan sobre los rasgos generales del “mundo sublunar”, identificado con la parte de la Naturaleza “corruptible” y sobre todo accesible para el hombre. Tal es el caso de Alberto Magno (h.1200-1280), que sigue en cierto modo a Avicena y que desarrolla las ideas de Aristóteles sin querer hacer intervenir para nada el Diluvio (“acontecimiento puramente sobrenatural”) en la configuración de la Tierra.<sup>29</sup> Sin embargo, en los mismos años, Ristoro d’Arezzo, un sabio toscano que fue uno de los primeros geólogos de campo, creía firmemente que los estratos rocosos de los Apeninos suministraban numerosas pruebas de la inundación bíblica.<sup>30</sup> Pero es el profesor parisino Buridán (h.1295-1358) quien, desde su cátedra de la facultad de Artes, desarrolla las concepciones más originales y audaces de la época acerca del globo (pues conviene aclarar que, en todo caso, él consideraba la Tierra esférica). Buridán creía que existían dos centros distintos para las dos primeras esferas aristotélicas, la de la tierra y la del agua. Este desfase físico-geométrico estaba causado por la lenta erosión de la mitad (¿o el cuadrante?) continental del mundo, que se levantaba poco a poco para compensar su continua pérdida de peso (*anticipación de la*

---

<sup>28</sup> Avicena, *De los minerales*, cit. por Gohau, G., *op. cit.*, p. 34.

<sup>29</sup> Ellemerger, F., *Histoire de la Géologie*, t. 1, pp. 87-88.

<sup>30</sup> *ibid.*, pp. 94-96.

*concepción moderna de la isostasia*), mientras que el hemisferio –o el sector del mundo mayor que un hemisferio– oceánico se hundía bajo el peso de los sedimentos que se acumulaban. Finalmente, este proceso –en analogía y resonancia con los movimientos de los astros– era cíclico, y tanto el área continental como el área oceánica acababan dando la vuelta completa al esferoide terrestre, de suerte que todas las regiones continentales habrían estado cubiertas, alguna vez, por el mar, y viceversa, lo que permitía explicar la presencia de restos de animales acuáticos en estratos rocosos de las montañas.<sup>31</sup> Esta curiosa concepción global de la Tierra mantuvo su vigencia hasta que las grandes exploraciones de los siglos XV y XVI mostraron que había tierras en todos los cuadrantes del mapamundi. De todos modos, la constatación paralela de la extensión gigantesca del Océano Pacífico dejó flotando un cierto “buridianismo”; y habría incluso que preguntarse si el descubrimiento reciente de la bimodalidad (continental y oceánica) de las cotas topográficas de la Tierra, que está ligada a la existencia de dos litosferas de diferente composición y densidad correspondientes a las áreas continentales y a las oceánicas, no le ha dado la razón, en alguna medida, a aquel visionario del siglo XIV.

La cuestión de la naturaleza y el origen de los fósiles estaba presente, como ya hemos visto, desde la Antigüedad, y originó varias líneas de especulación que pueden sistematizarse merced al cuadro insertado en la página siguiente.

La evidencia de hallarse ante verdaderos restos de seres vivos, que se impone con gran fuerza en la mayoría de los casos, debió ser lo que hizo que las primeras teorías sobre la naturaleza de los fósiles fueran aquéllas que los reconocen correctamente como tales restos. El segundo grupo de teorías, integrado por las que apelan a una misteriosa *vis tellurica formativa*, es mucho más tardío: tales concepciones, fruto del

## F O S I L E S

---

<sup>31</sup> Deparis, V. & Legros, H., *Voyage à l'intérieur de la Terre*, CNRS Éditions, París, 2000, pp. 55-61. Ver también: Ellemberger, F., *Histoire de la géologie*, t. 1, pp. 100-107; Gohau, G., *op. cit.*, pp. 37-40.

Naturaleza	1. <u>Restos orgánicos</u>	2. "Figurativa"
Origen	1.a. Sólo el Diluvio 1.b. Diluvio + inundaciones locales 1.c. Cambios en distribución de mares y tierras	2.a. Poder germinativo de la Tierra 2.b. <i>Ludi Naturae</i>

Cuadro 1

pan-vitalismo ingenuo de los alquimistas, surgen de hecho al final de la Edad Media.<sup>32</sup>

La opinión de Leonardo de Vinci sobre los fósiles es digna de ser recordada. En sus cuadernos de notas criticaba duramente las teorías formacionistas. Y, para explicar el hecho de que verdaderas conchas y esqueletos de animales marinos se encuentren muy tierra adentro e incluso en zonas altas, proponía la aventurada hipótesis del hundimiento generalizado del antiguo fondo marino, que separaría la gran masa que forman las aguas, de una inmensa cavidad subterránea antaño existente por debajo de todos los océanos. Al inundarse ésta repentinamente, y a causa de la grandiosa -y catastrófica- hidrodinámica originada, enormes trozos del antiguo fondo del mar, cubiertos de restos orgánicos, se desplazaron de golpe, amontonándose en algunos puntos para formar las montañas fosilíferas.<sup>33</sup>

#### **2. 4. Las "repercusiones telúricas" de la revolución copernicana**

<sup>32</sup> Ver, p. ej., Ellemberger, F., *Histoire de la géologie*, pp. 135-195; Gaudant, J., "Fossile" en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 429-434.

<sup>33</sup> Ver Gohau, G., *op. cit.*, pp. 40-45.

La llegada del heliocentrismo copernicano pudo quizá “humillar de manera inequívoca el orgullo del hombre”, como señalaba Freud (para quien ese efecto lo habían tenido las revoluciones científicas promovidas por Copérnico, Darwin y él mismo), pero su apartamiento del centro tuvo consecuencias más bien contradictorias para la “dignidad natural” de la morada de la humanidad, la Tierra. En efecto, en el esquema aristotélico lo “inferior” y lo “denso” coinciden con la Tierra, en tanto que *lugar natural* del elemento del mismo nombre, cuyas propiedades son opuestas a lo leve, lo sutil y, en suma, lo ígneo. En el seno de la Tierra no podía, por tanto, residir *establemente* nada más que “tierra”. Pero si la Tierra es un planeta, un cuerpo celeste, entonces puede tener dentro también fuego. De hecho, *podría ser una estrella* aunque casi apagada... Así que la teoría del *fuego central* de la Tierra debió esperar al ascenso del heliocentrismo para poder ser concebida y expuesta.

Pero eso tardó todavía un poco en llegar. El siglo XVI y las primeras décadas del XVII fueron una época más dada a teorizar sobre el cielo que sobre la Tierra, y la principal repercusión que sobre la percepción de esta última tuvo, en un primer momento, el nuevo sistema del mundo no fue sino la derivada, a nivel psicológico, del hecho mismo de resituarla radicalmente en el cosmos. Se diría, incluso, que más de cuatro siglos después todavía afloran consecuencias de esa primera y fundamental repercusión perceptiva que tuvo la revolución copernicana tanto sobre la concepción de la Tierra como sobre la actitud de la humanidad hacia ella. Al primer apartado atañe la posibilidad, *totalmente nueva* en el Renacimiento, de estudiar la Tierra, y de emitir teorías acerca de ella, con independencia del resto del universo, y no, como hasta entonces, teniendo que considerar al mismo tiempo todas las esferas cósmicas que, según las antiguas concepciones, centraba objetivamente la Tierra. Al segundo corresponde el cuestionamiento de la singularidad del *planeta Tierra*, primero a los ojos de los científicos, luego a los del público culto, y poco a poco también a los de la mayoría. La pregunta *¿hay otras Tierras?* pasó a estar en el aire... tras haberlo estado en los escritos de Giordano Bruno, que tan caro le costaron diez años antes de que

Galileo descubriera las montañas de la Luna.<sup>34</sup> La primera novela (satírica) precursora del género de *ciencia ficción*, en que aparecen habitantes de otro planeta (de “otra Tierra”), fue justamente *La historia cómica de los estados e imperios de la Luna*, de Cyrano de Bergerac, publicada en 1657; y con el *Micromegas* de Voltaire (1752) llegaron los primeros “visitantes del espacio”: un habitante de Saturno y otro de un planeta del sistema de Sirio.

Si la primera de ambas repercusiones de la revolución copernicana estaba, sin duda, cargada de consecuencias de cara a la elaboración de *teorías de la Tierra* tanto especulativas como científicas, cabe preguntarse qué interés puede tener la segunda en relación al tema central de la presente tesis, la Tierra como encrucijada de visiones paradigmáticas... Diríamos que, de entrada, está el de restarle carácter exclusivo al estudio de un “objeto Tierra” que ha dejado de ser el centro del Mundo y de las esferas de los elementos. Porque cabe suponer que si la geología científica fue, desde su nacimiento en la transición del siglo XVIII al XIX, una disciplina atípica centrada *en un único objeto* (nuestro propio planeta), ello se debió a que no se tenía acceso a ninguna de las “otras Tierras” que debían existir en el universo infinito.<sup>35</sup> La geología se quedó sólo en eso, y no fue desde el principio *planetología*, por el hecho de que el hombre no tenía acceso al conocimiento detallado nada más que de un planeta: la Tierra. Pero es, claro está, ahora mismo, en el tiempo de la exploración espacial, cuando se está llevando hasta sus últimas consecuencias –se diría que hasta las más extremas– el copernicanismo. Desde hace algunos años, en círculos científicos próximos a la NASA y a otras agencias espaciales, se acaricia con delectación la idea siguiente: si la Tierra –que no es *más que* un planeta entre otros– llegara a ser insuficiente para dar cabida a una humanidad en desmesurada expansión cuantitativa, o si la actividad industrial y consumista de ésta acabase por deteriorar la ecología global

---

<sup>34</sup> Ver Bruno, G., *Sobre el infinito universo y los mundos*, Aguilar Argentina, Buenos Aires, 1981. Giordano Bruno (n. en 1548) fue quemado en la hoguera por la Inquisición en febrero de 1600. Galileo dirigió por primera vez su telescopio hacia la Luna y algunos planetas en enero de 1610.

<sup>35</sup> Una idea que se generalizó precisamente en los siglos XVIII y XIX, y que el visionarismo bruniano anticipó de manera indiscutible.

de manera irrecuperable, podría considerarse la colonización de otro planeta. E incluso (¿por qué no?) su modificación artificial para hacerlo habitable, su “terraformación”. Esto, que parece el guión de una película *made in Hollywood*, es objeto hoy por hoy de serios debates en relación, en concreto, a Marte, “segunda Tierra” por excelencia.

## **2. 5. Un abigarrado desfile de imágenes**

En el transcurso del siglo XVII, el interés por la Tierra conoció una importante recuperación. Asentado ya -o a punto de asentarse- en los espíritus el nuevo sistema del mundo que hacía de la Tierra un planeta, de nuevo los ojos de los filósofos de la naturaleza se volvieron hacia ella, pues aunque no fuese el centro del universo, la Tierra no dejaba de ser nuestro hogar. Y vino el siglo (largo) de las *teorías de la Tierra*, marcado por una extraordinaria proliferación de imágenes, de auténticas *gestalten*, mediante las cuales se trataba de alcanzar una visión sintética, aunque desde luego especulativa, de la estructura y el origen del globo.

Llegados a este punto, conviene decir una palabra acerca del papel que jugaron los modelos visuales en la gestación de una ciencia, la geología, que todavía no existía plenamente como tal en la época en que tales modelos eran concebidos.

La necesidad humana de “imágenes del mundo”, ya aludida, se pone de manifiesto del modo más evidente, y con literalidad insólita, en la auténtica explosión de *visiones de la Tierra* que se produjo en los siglos XVII y XVIII. Esa impresionante proliferación iconográfica con finalidad descriptiva, que vamos a tener ocasión de constatar en las páginas siguientes, fue un fruto casi incontaminado de la facultad imaginativa de un pequeño número de espíritus inquietos que, contando con pocos datos empíricos, se movían impulsados por la pasión de concebir, de *ceñir*

*gestálticamente*, el mundo, resumido y simbolizado por la Tierra. En esta ocasión no se trataba de las leyes abstractas de la materia y el movimiento, ni de su aplicación a unas entidades celestes que, desde siempre, habían sido entendidas como integrantes de un mundo superior y perfecto, sino de centrarse en el inmediato sustrato físico del mundo de la experiencia y de la historia humanas, un mundo (“el mundo”) en cierto modo intermedio entre la vida del hombre y de los demás seres vivos, y las leyes que ordenan el cosmos.<sup>36</sup> Dos eran los objetivos principales de las *teorías de la Tierra*: modelizar la estructura (interna y externa) de ésta, y establecer un esquema de su devenir temporal. Sin el previo asentamiento de estos dos marcos categoriales, el de la *forma estructural* (que, en la época que nos ocupa, se entendía ya, de un modo u otro, como vinculada necesariamente a alguna clase de *dinámica formativa*) y el del *proceso constitutivo y transformador*, ligado al tiempo, ninguna geología científica habría podido nacer. Establecerlos, y ejercitarse en su “manejo mental”, era obviamente una fase indispensable, dado que el ser humano jamás había tenido una percepción clara –y mucho menos inmediata– de la Tierra como un todo global.

El filósofo francés Gaston Bachelard es un exponente destacado de la corriente de pensamiento que –especialmente en el país vecino– insiste en el valor cognoscitivo de la imagen, así literaria o textual como visual. En la *Encyclopédie Philosophique Universelle*, Jean-Jacques Wunenburger suministra un buen resumen de las razones que apoyan este punto de vista. Dice este autor que al tratar de alcanzar una precisión definitoria máxima a través del recurso exclusivo al método analítico, la filosofía se vacía de ecos; al renunciar a toda polisemia analógica –exigida por la *interrogación abierta* que está en su origen–, el filosofar en buena medida se esteriliza, perdiendo su *eros* básico, su nervio heurístico. Por el contrario, “movilizando la imaginación, sus instrumentos y sus producciones, la filosofía pierde -en un cierto sentido- en pureza, pero gana en eficacia *al comprometer a la totalidad del ser encarnado* en la actividad pensante.”<sup>37</sup> Y la imagen (da igual que sea visual o mental) posee ese poder de

---

<sup>36</sup> Recordemos la expresión “Geocosmos” utilizada por Athanasius Kircher.

<sup>37</sup> Wunenburger, J.-J., “La philosophie et l’iconographie” en A. Jacob (dir.), *Encyclopédie*



movilización y también de *poiesis*, pues “[*ciertas*] imágenes constituyen, de algún modo, el lugar a partir del cual toma forma el pensamiento, jugando el papel de auténticos gérmenes, de «programas genéticos», de todo un conjunto de desarrollos conceptuales. Tales imágenes, especie de *filosofemas* elementales y germinales, pueden asimilarse a lo que Bachelard llamaba «imágenes literarias.» Y añade Wunenburger: “Por mucho que Bachelard haya valorizado esencialmente la imagen literaria, la imagen verbal o verbalizable, convendría no obstante transponer esa misma función *poiética* a la imagen visual, y admitir la existencia, para el pensamiento, de una *iconopoiética*, de un poder de producción de cadenas de discursividad que se halla contenido en figuras concretas, en imágenes primordiales, cuya función es la de un instrumental que sirve para construir sistemas.”<sup>38</sup>

Entre los primeros elaboradores de modelos telúricos en la “Edad Moderna” se encuentran personalidades de la talla de Kepler, Galileo, Descartes y Leibniz. Todos ellos, excepto Galileo, se ocuparon tanto de la *forma* como de la *génesis* del globo terráqueo. Kepler rompió, además, abiertamente con la tradición aristotélica al considerar que, al ser un planeta más, la Tierra no tenía por qué responder al esquema de las esferas concéntricas de los cuatro elementos. No hay ningún “fuego” por encima del aire, que por lo demás forma una *atmósfera* que “no sobrepasa las cumbres de las montañas más elevadas”.<sup>39</sup> Pero, sobre todo, Kepler creía necesario explicar físicamente la forma esférica de la Tierra, no pudiendo satisfacerle -pese a su conocida valoración de las tradiciones platónica y pitagórica- las explicaciones basadas en la perfección de la esfera. Y se dio cuenta de que la “gravedad” de la Tierra (entendida ya, por él, como una *atracción* aunque sin ley conocida) bastaba para explicar causalmente dicha forma, *a condición de que originalmente el planeta se encontrase en un estado*

---

*Philosophique Universelle*, P.U.F., París, 1998, vol IV, p. 2379.

<sup>38</sup> *ibid.*, p. 2379.

<sup>39</sup> Kepler, *Epitome Astronomiæ Copernicanae*, libro primero; tr. fr.: *Abregé d’astronomie copernicienne*, livre 1<sup>er</sup>, Librairie A. Blanchard, París, 1988, p. 67.

*fluido* (que podía, por lo demás, ser “ígneo” o “acuoso”).<sup>40</sup> En este razonamiento encuentra Kepler una prueba (hoy sabemos que perfectamente válida) tanto de la no-eternidad de la Tierra como de sus necesarios *comienzos formativos*, puesto que una creación instantánea, al negar todo proceso gradual, reduciría la “explicación” de la forma esférica terrestre al mero cumplimiento de la voluntad del creador.

Galileo, que conjeturó más bien acerca de la *sustancia* de la Tierra, dice en su *Diálogo* de 1632 que no hay por qué considerar menos noble la Tierra que los cuerpos celestes, siendo precisamente la Tierra uno de ellos; y añade (siguiendo en esto a Gilbert, *De magnete*, 1600) que la materia del interior de nuestro planeta es sin duda de naturaleza magnética como la piedra imán, puesto que actúa sobre la brújula. Galileo propone, de hecho, un modelo de la Tierra muy concreto: el del *planeta-imán*:

Si cualquier mínima partícula de tal piedra [*de imán*] tiene en sí tal virtud [*magnética*], ¿quién se atreverá a dudar que ésta reside en mayor medida en todo el globo terrestre, abundante en tal materia, y que quizá él mismo, en cuanto a su sustancia interna y primaria, no es más que una inmensa mole de imán?<sup>41</sup>

Al autor del *Discurso del Método* y de las *Cogitationes* se debe otra obra, *Principios de la Filosofía* (1644), en la que propone un modelo de la Tierra basado en la suposición de que todos los planetas serían condensaciones de remolinos primitivos de materia, de los cuales el mayor habría dado origen al Sol. Los planetas, con la Tierra en cabeza, son pues de la misma naturaleza que las estrellas, de las que sólo se diferencian por su menor tamaño y su mayor grado de enfriamiento. Pero conservan (la Tierra, por lo menos) un *fuego central* que es un residuo de su naturaleza original.

---

<sup>40</sup> *ibid.*, pp. 42-43 y 100.

<sup>41</sup> Galileo, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolomaico y copernicano*, 426, Antono Beltrán (ed.), Alianza Editorial, Madrid, 1994, p. 344.

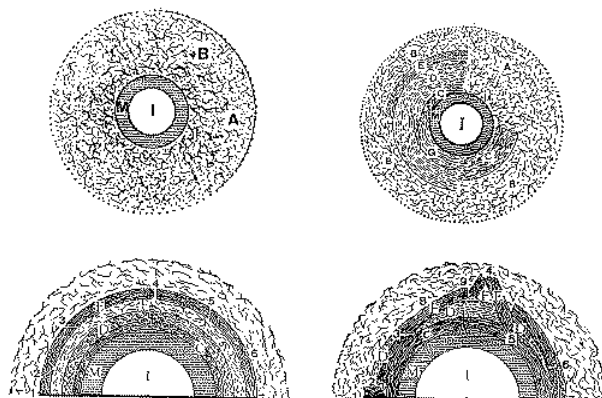


Figura 3. El globo terráqueo y su evolución temporal, según Descartes

Radialmente, del fuego central a la superficie rocosa, el enfriamiento sumado a la gravedad ha generado, según Descartes, una diferenciación de la materia en capas concéntricas. Sin embargo, existía inicialmente en el subsuelo, por alguna razón, una a modo de inmensa bóveda suspendida sobre un océano subterráneo (clara inspiración en Leonardo). De modo que al cuartearse la primitiva corteza superficial (a la vez “suelo terrestre” y “techo” de la macro-caverna) a causa de la desecación producida por el sol, gigantescos costrones se desplomaron sobre el mar interior, que a partir de ese momento quedó expuesto, en tanto que los escombros se amontonaban en posiciones azarasas e irregulares, lo que permitiría explicar el relieve terrestre<sup>42</sup> (fig. 3).

Leibniz también tocó el tema del origen de la Tierra, e incluso lo hizo en más de una ocasión. Destaca un texto titulado *Protogæa* que escribió en 1691 ó 1692, pero que no fue dado a conocer íntegramente hasta 1749, bastantes años después de su muerte. La idea básica es que la Tierra era inicialmente un globo en estado de completa fusión, ya que:

(II) [...*el autor*] conjetura que la mayor parte de su materia ha sufrido el fuego, sobre todo cuando ocurrió la separación general, según Moisés, de la luz y las tinieblas. Y esto debe

<sup>42</sup> Descartes, R., *Los principios de la filosofía*, par. IV (“Sobre la Tierra”), 1-44, Alianza Editorial, Madrid, 1995, pp. 263-298.

poder explicar lo que algunos admiten: que los cuerpos opacos o planetas -de cuyo conjunto la Tierra forma parte, según ellos, con toda verosimilitud- han nacido de [*cuerpos*] fijos o brillantes, recubiertos, tras su primitiva ignición, de máculas, y en alguna medida, de una corteza, si se quiere.

(III) Y esta corteza pertenecería al género de las vitrificaciones; de ahí que la base de la tierra sea la materia vítrea, cuyos fragmentos forman las arenas...<sup>43</sup>

De hecho, es justo al revés: la mayoría de las rocas que forman la corteza continental (la única observable hasta muy recientemente) son “cristalinas”. Pero su origen no deja de ser igualmente fusional-magmático. Deparis y Legros hacen notar, por su parte, que “el globo de Leibniz, evoluciona unidireccionalmente del fuego al agua”.<sup>44</sup> El origen de la Tierra es ígneo y activo, pero la evolución ulterior del planeta es acuosa y marcada crecientemente por la pasividad. En cuanto a Ellemberger, subraya las influencias alquímicas (y arquetípicas, añadiríamos) que se detectan en la “geo-concepción” leibniziana. Y para apoyar su opinión, cita un significativo pasaje de la *Protogea*:

Hará, según nosotros, una obra importante, aquél que cuidadosamente compare los productos de la naturaleza, sacados del seno de la Tierra, con los productos de los laboratorios..., pues entonces resplandecerán ante nuestros ojos las llamativas relaciones que existen entre los productos de la naturaleza y los del Arte... [*Pues*] la naturaleza no es otra cosa que un Arte de dimensión mucho mayor... En nuestros torpes ensayos, esbozamos lo que la Naturaleza ejecuta en grande. Ella, que tiene por alambiques las montañas y por hornos los volcanes.<sup>45</sup>

Pasemos revista ahora a una selección de los modelos de la Tierra que se sintetizan en una imagen estática<sup>46</sup> (lo que no significa que “estáticos”, pues esto último presupone

---

<sup>43</sup> Leibniz, G.W., *Summi polihistoris Godefridi Guilielmi Leibnitii Protogæa*, Göttingen, 1749; trad. fr. en: Ellemberger, F., *op. cit.*, t. 2, pp.138-139.

<sup>44</sup> Deparis V. & Legros H., *op. cit.*, p. 207.

<sup>45</sup> En *Summi... Leibnitii Protogæa*; cit. por Ellemberger, F., *op. cit.*, t. 2, p. 142.

<sup>46</sup> Los dos aspectos, estático y dinámico, de las teorías de la Tierra precientíficas estaban estrechamente ligados, pero no es menos cierto que algunas teorías enfatizaban más un aspecto que el otro, e incluso que las había que se ceñían casi completamente a uno de ellos.

apostar por la ausencia de dinámica, lo que no es el caso necesariamente). Unos de ellos es el del jesuita de tendencia heterodoxa Athanasius Kircher. Si, como hemos visto, el “fuego central” de Descartes es un mero residuo del pasado sin actividad externa en el *presente*, en este otro modelo, apenas algo posterior, dicho fuego no es tan pasivo. En su célebre *Mundus Subterraneus* (Amsterdam, 1665), Kircher nos presenta, con ayuda de llamativos grabados, una Tierra con un gran foco central de magma ígneo que alimenta numerosos focos secundarios, los “pirofilacios”, a través de toda una red de canales por los que circula el material incandescente (fig. 4). Esos canales alcanzan la superficie en algunos puntos, y forman volcanes. Explosiones subterráneas de los gases desprendidos por el magma originan los terremotos. Existe además una intrincada red hidrológica formada por canales y sifones semejantes a vasos sanguíneos, los “hidrofilacios”, que subraya el carácter organicista de un modelo fuertemente influenciado por el ideario hermético y alquímico de su autor.

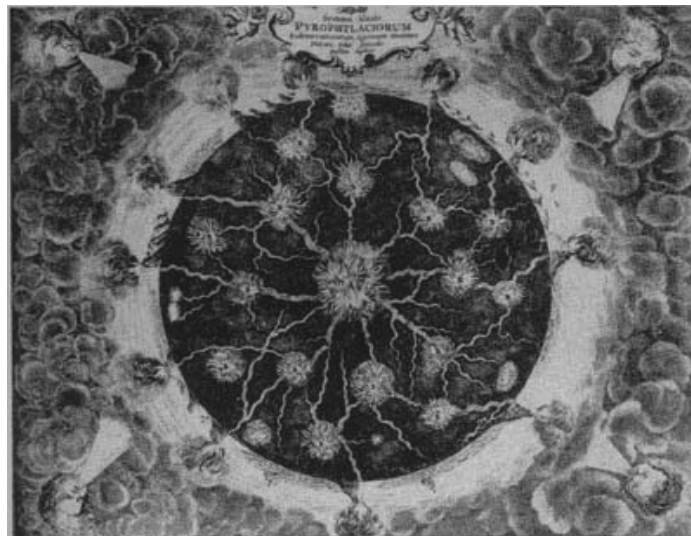


Figura 4. El interior de la Tierra, según Kircher

---

Los creacionistas (bíblicos) *debían*, en principio, limitarse al aspecto formal-estático del globo, y así era *en algunos casos* pero ni siquiera en la mayoría, ya que la tentación de especular acerca de la génesis del globo (estuviera o no de acuerdo con el libro del *Génesis*) era demasiado fuerte. Los librepensadores no estaban, lógicamente, sometidos a esa limitación, salvo por motivos políticos, pero eso no quiere decir que, para todos, el aspecto generativo fuese el prioritario.

Wunenburger pone a Kircher como ejemplo de un manejo magistral de la iconografía orientado a poner en pie, dice, “una filosofía viva, sustitutiva de los tratados dogmáticos abstractos de la escolástica.”<sup>47</sup> Sea como fuere, el hecho de que Kircher diese a conocer sobre todo mediante grabados su concepción de la estructura interna del globo terráqueo, hace de él uno de los iniciadores de los diagramas geológicos, sin los cuales no se habría desarrollado ciencia alguna de la Tierra.

Citaré a continuación algunos modelos telúricos más, de la misma época, sin pretender ser exhaustivo:

\* Modelo de Burnet (1635-1715). La verdad es que mayor interés que su modelo presenta la “historia” (pasada, presente y futura) que este teólogo inglés protestante se inventó, literalmente, para la Tierra en su *Telluris Theoria Sacra* (Londres, 1681).<sup>48</sup> No obstante, no dejó de proponer un esquema del interior del globo (fig. 5), el cual estaría estructurado en cuatro zonas: un núcleo ígneo (A), una primera capa sólida (B), un océano interno (C) y la capa rocosa exterior (D). Sobre esta última, los paisajes

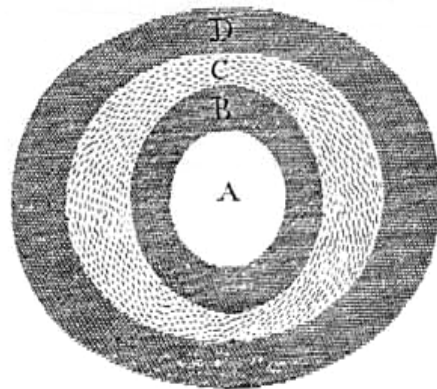


Figura 5. Modelo de la Tierra, de Burnet

---

<sup>47</sup> Wunenburger, J.-J., “La philosophie et l’iconographie”, *Encyclopédie Philosophique Universelle*, vol. IV, p. 2377.

<sup>48</sup> Trad. ingl.: Burnet, T., *The Sacred Theory of the Earth*, Southern Illinois Univ. Press, 1965.

montañosos, lejos de alegrarnos la vista, no son otra cosa, según él, que “espantosas ruinas dejadas por el Diluvio”.

\* Modelo de Woodward (1665-1728). Este autor, británico igualmente, expone en un *Ensayo sobre la historia natural de la Tierra*<sup>49</sup>, que por debajo de las múltiples capas estratificadas que constituyen la gruesa corteza de nuestro planeta, existe una esfera central acuosa (fig. 6). Las aguas del Diluvio proceden, por supuesto, de ese auténtico “mar intratelúrico” en el que se detectan claramente ecos del Tártaro platónico. Dichas aguas habrían, con ocasión de la gran inundación bíblica, disuelto todos los materiales, volviendo a depositarlos después ordenadamente, para formar las capas concéntricas que recubren las “aguas inferiores”, el Abismo como él las llama. Vemos como en este modelo la imagen de la Tierra y su proceso generador son totalmente inseparables. El interés de la *gestalt* de Woodward reside en que sintetiza el esquema explicativo de las principales teorías neptunistas, que fueron –en conjunto– las predominantes durante más de un siglo.

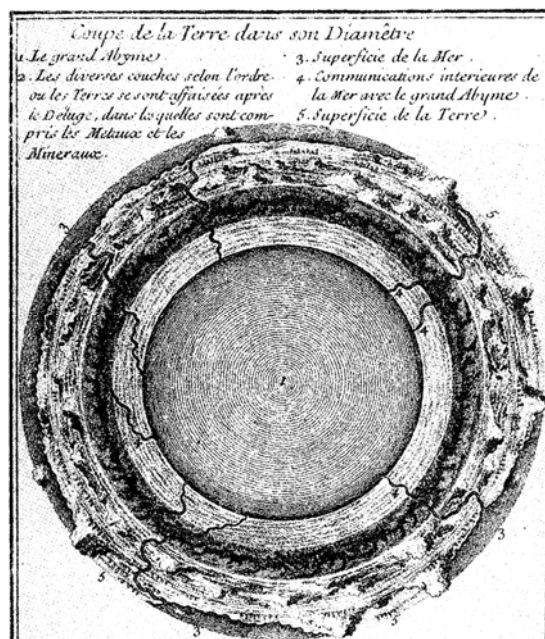


Figura 6. Modelo de la Tierra, de Woodward

\* Modelo de Whiston (1667-1752). En la teoría de la Tierra que este clérigo inglés

<sup>49</sup> Woodward, J., *An Essay towards the Natural History of the Earth*, Londres, 1695.

aficionado a la especulación geológica dio a conocer en 1696<sup>50</sup>, plantea que nuestro planeta es un antiguo cometa, algo de cuyo calor inicial se conserva todavía en el núcleo, aunque no en suficiente cantidad como para mantenerlo fundido. Sobre este núcleo sólido caliente descansa una esfera acuosa (el agua que contenía el cometa), y sobre ésta la corteza sólida. El modelo es, pues, muy parecido al de Burnet, pero sin fuego central y añadiendo un origen celeste. Hay, no obstante, otra diferencia que hace este modelo interesante, y es que Whiston añade una explicación del relieve que resulta sorprendentemente moderna: la diferencia de densidad de los distintos materiales que forman la corteza terrestre puede bastar para explicarlo, ya que al hallarse todos ellos flotando sobre el océano subterráneo, los más pesados se hundían más (y sobre ellos aparecen llanuras y depresiones) y los más ligeros, de mayor flotabilidad, forman las montañas. Aquí el razonamiento de Whiston dio totalmente en el blanco, porque el fenómeno que describe no es ni más ni menos que el de la *isostasia*, con agua sustituyendo a la *astenosfera* fluida... De hecho, algo muy parecido a lo que él describe puede estar pasando en el satélite Europa de Júpiter, que posee muy probablemente un océano de agua líquida bajo la capa exterior de hielo, la cual presenta además un cierto relieve.

\* Modelo de Halley (1656-1743). A este célebre astrónomo británico se debe una de las teorías de la Tierra más extrañas de todas las que se publicaron en la época. Para explicar el campo magnético terrestre supuso, en 1693, que nuestro planeta contiene varias esferas concéntricas imantadas que giran las unas con relación a las otras (fig. 7). Como la Tierra es un microcosmos, los diámetros de esas esferas coinciden además con los de ciertos planetas del sistema solar. Interpuesta entre ellas existe una tenue atmósfera, y cada una es el soporte material de un mundo que puede, incluso, estar habitado.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup> Whiston, W., *A New Theory of the Earth*, Londres, 1696; reimpr.: Arno Press, Nueva York, 1978.

<sup>51</sup> Halley, E., "An Account of the cause of the Change of the Variation of the Magnetical Needle...", *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 1693, pp. 563-578.



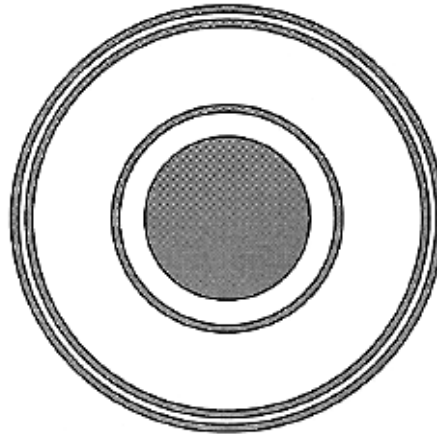


Figura 7. Modelo de la Tierra, de Halley

\* Modelo de Benoît de Maillet († 1738). Este autor publicó en 1748 –por tanto a título póstumo– y bajo el pseudónimo de Telliamed (su nombre invertido), un libro de largo y curioso título (*Telliamed, ou Entretiens d'un philosophe indien avec un missionnaire français sur la diminution de la mer, la formation de la terre et l'origine de l'homme*<sup>52</sup>) en el que sostiene que la Tierra es totalmente sólida y está constituida por capas concéntricas hasta su mismo centro. Pese a ser librepensador, explica esa estructura recurriendo al postulado básico del neptunismo (que se ha tendido a asociar sistemáticamente a los teorizadores de la Tierra de compromiso bíblico), a saber que la Tierra primitiva estaba totalmente cubierta por las aguas, y que de la retirada o la evaporación de éstas proceden sus actuales materiales junto con la disposición que presentan.

\* Modelo de Gautier (1660-1737). Es, junto con el de Halley, uno de los más curiosos. Para Gautier (1721), la Tierra –sobre cuya cara exterior convexa vivimos nosotros– está hueca y cuenta con una cara interior cóncava que encierra una “atmósfera sutil interna” y soporta un “mundo al revés”. Sorprende el énfasis con que los actuales historiadores franceses de la geología (especialmente, pero no sólo, François

---

<sup>52</sup> Reedición: Fayard, París, 1984.

Ellemerger<sup>53</sup>) reivindican el carácter de precursor de un personaje de ideas tan excéntricas. Pero esta curiosa insistencia puede no carecer de lógica si consideramos que, por un lado, Gautier proponía dos fuerzas contrapuestas: la gravitacional, centrípeta, y otra de tipo inercial, centrífuga, para explicar la estabilidad de su modelo; y que la interacción de ambas (que se anulaban justo en la mitad del tenue “tabique cristal”, de entre 5 y 10 km de espesor, que separaba los dos mundos) ponía en marcha procesos geológicos cíclicos, destructivos y constructivos, tanto en el *anverso* como en el *reverso* del globo, unos procesos bastante similares a los que –sin necesidad de una hipótesis tan rebuscada– postuló Hutton antes de acabar el siglo. Y que, por otro, existe una curiosa analogía metafórico-imaginal entre el modelo de Gautier y uno de los más recientes del interior de la Tierra, analogía que será expuesta en el capítulo 4.

La de Gautier no ha sido la única teoría de la “Tierra hueca” que se ha propuesto. En el siglo XVIII estuvieron las de Boulanger (1753) y Füchsel (1773), y en el XIX las de Ritter (1878), Günther (1884) y Mantovani (1889).<sup>54</sup> El antecedente mítico de todas ellas es el Tártaro hesiódico (más que el platónico), lugar de destierro de los Titanes y morada de Hades; el primer modelo histórico fue el de Halley, que ya se ha explicado, y en el terreno literario todo el mundo conoce la novela de Julio Verne *Viaje al centro de la Tierra*, publicada en 1864, pero es menos conocido que no está nada claro que el escritor francés se inventara, sin más, los fantásticos parajes intratelúricos por los que pasea a sus personajes, ya que es bastante probable que se inspirase en ciertas especulaciones a las que irónicamente se había referido, hacía poco, Humboldt:

...el ingenioso Leslie se vio llevado a presentar el interior del globo de la Tierra como una caverna esférica “llena de un fluido imponderable, pero dotado de una fuerza de expansión enorme”. Pronto estas aventuradas concepciones hicieron nacer ideas todavía más fantasiosas en espíritus enteramente extraños a la ciencia. Se llegó a hacer crecer plantas en esa esfera hueca; se la pobló de animales; y, para disipar las tinieblas, se hicieron circular por su

---

<sup>53</sup> Ver Ellemerger, F., “La théorie de la Terre d’Henri Gautier” en *Histoire et Nature*, VII, 1975, y IX-X, 1977.

<sup>54</sup> Ver Deparís & Legros, *op. cit.*

interior dos astros, Plutón y Proserpina.(...) En fin, cerca del Polo Norte, hacia los 82° de latitud, se encontraría una inmensa abertura por la que debía filtrarse la luz de las auroras boreales, y que permitiría descender a la esfera hueca. Sir Humphry Davy y yo fuimos insistente y públicamente invitados, por el capitán Symmes, a emprender esa expedición subterránea.<sup>55</sup>

Y ya que estamos en el apartado de los pintoresquismos extremos, habrá que referir que hace sólo escasos años que se disolvió la “Sociedad de la Tierra Plana”<sup>56</sup>, al comprender sus miembros que la teoría por la que habían estado luchando se había vuelto absolutamente imposible de sostener tras el paseo lunar –dado a la luz de una espléndida “Tierra llena”– de Armstrong y sus compañeros.

## **2. 6. Geología, ¿global o local ?**

Muchos se han preguntado en qué momento –y a partir de qué autores– se puede empezar a hablar de la geología como ciencia, y las respuestas son variadas. Creo que las discrepancias tienen su origen en un malentendido, ya que –como ya se ha dicho– desde el siglo XVII existen dos “geologías”, local y global, obviamente relacionadas, pero también crecientemente divergentes, al menos hasta el advenimiento de la Tectónica de placas. Aunque la geología local –o de pequeña escala– es ajena al propósito de la presente tesis, no lo es tomar buena nota de su existencia, que ha condicionado fuertemente la imagen popular del geólogo como *estudioso de los componentes terrestres locales*, a la microescala (minerales, rocas, fósiles) o a la mesoescala (disposición de las capas del terreno, fallas, prospección regional). Pues

---

<sup>55</sup> Humboldt, A. (1845), *Cosmos*, cit. por Deparis & Legros, *op. cit.*, p. 261.

<sup>56</sup> “The International Flat Earth Research Society” con sede en Dover (Inglaterra); según Derrey, F., *La Terre, cette inconnue*, L’Encyclopédie Planète, París, 1964, p. 33.

bien, pienso que no es difícil mostrar que una y otra geología adquirieron los rasgos propios de una ciencia en momentos distintos. Si entendemos que una ciencia de la naturaleza debe contar necesariamente con un *marco observacional* lo suficientemente desarrollado, que permita contrastar las hipótesis (sin que ello suponga definirse por el inductivismo, el falsacionismo o cualquier otra posición metodológica), entonces caben pocas dudas de que mientras que el carácter científico de la geología de ámbito local viene de lejos, la geología global ha conservado rasgos especulativos hasta muy recientemente. Podríamos incluso decir que *no han desaparecido del todo*, con los inconvenientes y también ventajas que ello implica... Pero todo esto se verá en los próximos capítulos.

El primer geólogo local, que tuvo intuiciones metodológicas luminosas y las aplicó a estudiar un caso particular, la región de Toscana, fue el danés Niels Steensen, más conocido por Steno (1638-1686). En su obra –anunciadora de otra más amplia que se quedó en proyecto– *Pródromo de una disertación sobre lo sólido contenido, de forma natural, en lo sólido*<sup>57</sup>, publicada en 1669, establece los dos primeros principios de la estratigrafía: 1. Principio de superposición. Los estratos, depositados siempre –según Steno– en medio acuoso, tienen superficies de separación horizontales, y siendo la gravedad –que actúa de manera continua a lo largo del tiempo– la responsable de su deposición, puede asegurarse que, cuando están horizontales, los que más abajo se encuentran son los más antiguos; 2. Principio de secundariedad de la inclinación. Los estratos inclinados han sufrido necesariamente algún tipo de deformación, ya que se depositaron horizontalmente. Estos dos principios han llegado incólumes hasta nosotros, y constituyen el abecé de la geología sedimentaria de campo. Pero lo que Steno no fue capaz de imaginar (*correctamente* o, si se prefiere, acercándose a lo que hoy sabemos) es cómo se deforman los estratos. Él pensaba que simplemente basculan y caen hacia los lados, a causa del socavamiento de los materiales subyacentes, algo en suma muy parecido a lo que –a gran escala– postulaba Descartes para explicar la existencia de las montañas.

---

<sup>57</sup> Steno, N., *The Prodromus of Nicolaus Steno's Dissertation...*, Hafner Publ., Nueva York / Londres, 1963.

Es curiosa la tardanza en la simple consideración de unas posibles *causas ígneas intrusivas* para las deformaciones de la corteza terrestre, incluida la inclinación de los estratos, pese a “estar ahí” ya el fuego central. Hasta bien entrado el siglo XVIII esta posibilidad apenas si se formuló. La única excepción fue Kircher que, con sus “pirofilacios”, fundaba de hecho la corriente vulcanista. Gohau sugiere que la aplicación tecnológica exclusiva –todavía en el siglo XVII– del “fuego” a las armas del mismo nombre, especialmente a los explosivos y a los cañones, impedía percibir el aspecto constructivo de la energía ígnea.<sup>58</sup> Bien mirado, los basculamientos de Descartes y Steno no hacían sino desplegar para el caso de la Tierra –a las escalas global y local, respectivamente– el prototipo de la *palanca*, “máquina simple” de amplia aplicación en el diseño de *autómatas*.

Por otra parte, Steno sugirió reglas empíricas capaces de guiar el trabajo de campo. Decidido partidario del origen orgánico de los fósiles, propuso orientarse por ellos para identificar el *medio sedimentario* (marino, pantanoso, fluvial...), ya que no –como mucho más tarde se plantearía– la edad de los estratos. Hay que tener en cuenta que, de todos modos, para él el tiempo de la sedimentación no debía superar los célebres 6000 años de la Biblia. Y no sólo subraya explícitamente este tope temporal, sino que cuenta implícitamente con él cuando, por ejemplo, dice que la presencia de “planchas de navíos” en el interior de algún estrato puede, al igual que las conchas, los depósitos salinos, etc., revelar que la capa se depositó en medio marino.<sup>59</sup>

Esto último nos recuerda que no debemos subvalorar –ni siquiera por reacción a la interesada manipulación lyelliana del tema– las trabas religioso-dogmáticas que, durante largos siglos, dificultaron la labor de los estudiosos de la Tierra. El literalismo en que cayó la exégesis bíblica insistía en que el texto fundamental de la tradición judeocristiana contiene datos concretos de la *historia natural* del mundo, y en que esto obligaba a limitar el campo de la especulación y de la investigación (*¿para*

---

<sup>58</sup> Gohau, G., *op. cit.*, pp. 137-138.

<sup>59</sup> cit. por Ellemberger, F., *Histoire de la Géologie*, t.1, p. 267.

*qué investigar lo que ya está resuelto por la revelación divina?*). Más afortunados que los geólogos y que los astrónomos, los físicos, químicos y matemáticos no tuvieron, en general, que competir con unas inexistentes “fórmulas bíblicas” que habrían vuelto su trabajo igual de complicado... Es muy posible que, en los siglos pasados, este factor externo, unido a la debilidad de los datos de geología global disponibles y a la consiguiente necesidad de lanzarse, en dicho campo, a arriesgadas apuestas interpretativas, haya influido en la preferencia de la mayoría de los geólogos por las pequeñas escalas.

Además, la geología de escalas micro y meso es –y ha sido prácticamente desde su origen– *geología aplicada*, mientras que la geología global siempre fue mucho más *filosófica* (y de ahí sus problemas con la Iglesia), hasta el punto que sus primeras aplicaciones prácticas sólo han llegado de verdad con la Tectónica de placas.<sup>60</sup>

Podríamos decir, pues, que Steno sentó las bases de la geología científica local, la misma que Hutton hizo avanzar considerablemente poco más de un siglo después, poniendo ambos así los fundamentos de una *ciencia de la superficie terrestre, de escala local y regional*. La geología, sin embargo, en tanto que *ciencia del objeto Tierra*, constituyó durante largo tiempo un horizonte, un desiderátum.

En lo que se refiere a Hutton, a quien acabo de mencionar, es ciertamente un personaje a caballo de las dos geologías. No sólo concedió siempre un gran papel a la observación sobre el terreno –orientada, eso sí, por una teoría que hace posible “buscar” y “ver”– sino que además teorizó, y mucho, en cuanto a la *forma general y a la duración del proceso*, a sus *causas* y a la *naturaleza del “todo” protagonista*. Por todo ello –a más de otros motivos– se le dedicará en el próximo capítulo el espacio que merece.

## **2. 7. De la forma al devenir: tiempo y proceso en geología**

---

<sup>60</sup> Por ejemplo, en el campo de la prospección de hidrocarburos.

Hemos visto la gran antigüedad de la especulación filosófico-natural sobre los procesos de desgaste y eventual reconstrucción de los elementos que integran la morfología externa de la Tierra. Y hemos visto también que ya el primer pensador que, históricamente, reflexionó acerca del tema, Aristóteles, se dio cuenta de que procesos tales como el arrasamiento de las montañas, la colmatación de valles profundos y el avance y retroceso de las líneas de costa, exigían períodos de tiempo inmensos para realizarse. Incluso quizás (sobre todo al contemplar la posible repetición indefinida de esos procesos) “una eternidad”... Ahora bien, dado el sesgo literalista que adoptó el cristianismo institucional (en todas sus versiones), el cual llegó a postular una edad ridículamente pequeña (6000 años) para la Tierra, sobre la base de cálculos hechos partiendo de las edades de los patriarcas bíblicos y de la duración de las fases históricas del Antiguo Testamento, esa especulación tenía por fuerza que ser mirada con extrema sospecha; y si no se extinguió del todo durante los largos siglos de plena hegemonía eclesial fue sin duda gracias a la pervivencia, más o menos soterrada, del espíritu filosófico heredado del mundo antiguo. Por eso, la especulación primero, y la investigación después, acerca de las dinámicas formativa y transformativa de la Tierra resultaron extremadamente polémicas. Acaso no esté de más recordar que el conflicto histórico entre los plazos de la historia natural y los de la religión se ciñe estrictamente a *nuestra* tradición religiosa. Y que si fue (¿o es todavía, residualmente?) un conflicto emocional y sociológicamente muy denso, en cambio *intelectual y filosóficamente* su nivel era muy bajo. La irracionalidad de la posición biblista era -siempre lo fue- manifiesta, siendo así que ya numerosos pensadores griegos (no solamente Aristóteles: recordemos, por ejemplo, a los primeros estoicos) habían entendido, en base a observaciones elementales, que la Tierra tenía que ser incalculablemente vieja. Pero es que, además, se trataba –si bien se mira– de un conflicto ajeno a cualquier preocupación metafísica de fondo... Es un hecho que para otras tradiciones espirituales, como las de la India, que manejan ciclos (¡incluso si son míticos!) de miles de millones de años<sup>61</sup>, una querrela doctrinal de estas características no tiene el

---

<sup>61</sup> Ver, p. ej., García Cruz, C.M., “La edad de la Tierra y otras cosas por el estilo”, *Enseñanza*

menor sentido.

Lo cierto es que la cuestión de ¿cómo, y tardando cuánto tiempo, ha llegado la Tierra a ser como es hoy? debió esperar al siglo XVIII para (re-)plantearse con toda claridad, y no precisamente porque el problema no estuviese dando vueltas, desde hacía mucho, en muchas cabezas. Encontramos, en cierto modo, un antecedente en la *Telluris Theoria Sacra* (1681) del ya mencionado Thomas Burnet. El *geo-biblisto* de la “historia sagrada de la Tierra” desplegada –con ayuda de abundante iconografía– por este capellán inglés queda, tal como observa Gould<sup>62</sup>, muy matizado en su aparente ortodoxia por la sugerencia final de un megaciclo repetitivo: nuestro mundo –da a entender Burnet, al disponer en círculo cerrado su esquema de las etapas de la Tierra– sigue ciertamente un proceso de degradación física, especialmente desde la gran inundación del Diluvio Universal, pero al final será totalmente regenerado por Dios que lo transformará en una estrella, y una nueva creación tendrá lugar entonces. Esto se ha producido ya un número indefinido (¿infinito?) de veces, y seguirá ocurriendo en el futuro. Los ecos de la concepción estoica (que pudo recoger, por su parte, influencias hindúes<sup>63</sup>), reseñada al comienzo del presente capítulo, son aquí evidentes. Algunos años más tarde, Benoît de Maillet, desde su explícita desafección eclesial, postulaba ciclos de inundación generalizada y desecación que se extendían sobre un tiempo insondable, para explicar la formación “neptunista” de las montañas y de las rocas.<sup>64</sup> Pero fue Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), el primer gran naturalista que puso sobre la mesa el tema, si bien con la prudencia que le aconsejaba su cargo de conservador del *Jardin des Plantes Médicinales du Roy*, encantador espacio urbano –el *Jardin des Plantes*– que seguimos pudiendo visitar en París, dos siglos y medio después, dando a la calle que lleva el nombre del sabio. El suplemento de su *Historia Natural* titulado *Les époques de la Nature*, cuya primera

---

*de las Ciencias de la Tierra*, (7.2), 1999, pp. 94-101.

<sup>62</sup> Gould, S.J., *op. cit.*, cap. 2 (“El campo de la batalla del tiempo de Thomas Burnet”).

<sup>63</sup> Pues existió algún contacto entre Grecia y la India desde la expedición de Alejandro.

<sup>64</sup> de Maillet, B. (1748), *Telliamed...*; cit. por Gohau, G., *op. cit.*, pp. 83-88.



versión data de 1749 (la segunda, corregida y completada, apareció en 1779 como libro independiente), plantea una panorámica general de la historia del planeta que se extiende sobre “setenta y cinco mil años”. Pero en el manuscrito incluía un párrafo que, por buenas razones (tuvo, de hecho, un principio de conflicto con la Iglesia poco después de acceder a su cargo), prefirió dejar inédito, en el que hablaba de casi tres millones de años; y añadía que “cuanto más extendemos el tiempo [geológico], más nos acercamos a la realidad”, para rematar diciendo que “sin embargo, debemos acortarlo todo lo que podamos *a fin de conformarnos a la limitada capacidad de nuestra inteligencia*”.<sup>65</sup> Parece que Buffon no era insensible al vértigo del tiempo geológico profundo.

Pero lo que hace especialmente interesante la versión definitiva de *Les époques de la Nature* no es, en todo caso, la cronología, sino el hecho de contener la primera formulación de la *teoría direccionalista*. Esta hipótesis tiene su origen, como hemos visto, en los primeros autores modernos que especularon sobre el origen de la Tierra. Si nuestro planeta estuvo fundido inicialmente (Kepler, Leibniz) o incluso fue una pequeña estrella de cuya naturaleza original sólo queda un reducido núcleo ígneo (Descartes), entonces la continuidad del enfriamiento del globo se presupone implícitamente. Buffon sacó algunas consecuencias lógicas de esta idea, y planteó que los climas han tenido que ser cada vez más fríos, a lo largo de la historia de la Tierra, lo cual viene corroborado, según él, por los cambios sufridos por la flora y la fauna. Así, en la presencia, en Europa, Siberia y América del Norte, “hace quince mil años, de elefantes, rinocerontes, hipopótamos y otros animales propios de la actual zona tórrida,”<sup>66</sup> veía nuestro naturalista una prueba incontrovertible del clima más cálido de que se beneficiaban las latitudes altas en los tiempos no muy lejanos que constituían la quinta de sus “épocas” (la posibilidad de que aquellos animales no fuesen exactamente los mismos que existen hoy, sino otros parecidos adaptados a un ambiente más frío,

---

<sup>65</sup> Buffon, *Les Époques de la Nature*, “Première Époque”, p. 67, manuscrito, Bibliothèque du Muséum d’Histoire Naturelle de Paris.

<sup>66</sup> Buffon, *Les Époques de la Nature*, París, 1779; reedic.: Éditions du Muséum, J. Roger (ed.), París, 1988, p. 142.

no fue considerada por Buffon). Por otra parte, Buffon se ocupó también de la constitución del interior de la Tierra, y llegó a la conclusión –en oposición a Gautier, Woodward, etc.– de que está totalmente *llena*. No se trata, en este caso, de una opinión especulativa más, sino de una deducción basada en las primeras observaciones gravimétricas de la historia. Nuestro naturalista notó que la dirección de la plomada en la vecindad de una montaña elevada (se refiere, en concreto, a la falda de los Andes peruanos) no se desvía apenas de la vertical, al contrario de lo que –de acuerdo a la ley de Newton– sucedería si la Tierra estuviese hueca o llena de un líquido relativamente ligero, tal como el agua.<sup>67</sup> A partir de estas observaciones, Buffon estableció su modelo de una Tierra actual totalmente sólida y homogénea, que procede, por enfriamiento, de una Tierra primitiva en estado de completa fusión.

Hacia mediados del siglo XVIII ya estaban, pues, presentes casi todas las componentes de la *primera síntesis geológica* que llevarían a cabo Hutton y Lyell. Como lo estaban también, en sus líneas generales, las posturas dicotómicas llamadas a enfrentarse en el siglo siguiente: neptunismo-plutonismo, catastrofismo-uniformitarismo, estaticismo (cíclico) - direccionalismo (histórico). Precisamente el caso de Buffon es especialmente representativo de esta presencia precursora, ya que en su larga vida activa el gran naturalista asumió sucesivamente los dos polos de cada una de las tres dicotomías mencionadas. En efecto, en la *Théorie de la Terre* contenida en la primera edición de su *Historia Natural*, Buffon propone causas exclusivamente acuosas y cíclicas para explicar la formación de *la totalidad* de las rocas según un esquema francamente aristotélico, ya que dice que “si las aguas del mar han recubierto, en el pasado, nuestros continentes, las «aguas del cielo» que hoy erosionan las montañas acabarán por devolver, algún día, estas tierras al mar, que pasará a ocuparlas dejando al descubierto otros continentes”<sup>68</sup>; de modo que los depósitos litológicos se efectuarían, desde los primeros tiempos, en virtud de esas subidas y

---

<sup>67</sup> Buffon, *Théorie de la Terre*, París, 1744, 1<sup>er</sup> artíc., en Buffon, *Œuvres philosophiques*, PUF, París, 1954, pp. 75-76.

<sup>68</sup> Buffon, *Théorie de la Terre*; cit. por Ellemberger, *Histoire de la géologie*, t.2, pp. 213-214.

bajadas periódicas del nivel del mar, por lo que -con sobrada lógica- Gohau sugiere que el primer Buffon estaba en deuda con Benoît de Maillet.<sup>69</sup> Ahora bien, hay un segundo Buffon, el de la 2ª edición de *Las épocas...* con las correcciones y añadidos que el autor les aportó. En ella introduce un *plutonismo originario* (las rocas más antiguas, los granitos, proceden de un magma fundido primitivo). El resto de las rocas son neptónicas, y siguen siendo los precipitados cíclicos que el autor ya postulaba treinta años antes, pero precisando ahora que, en cada fase, el depósito se realiza en condiciones medioambientales distintas (siempre más frías, en concreto) que las que presidían las fases anteriores.<sup>70</sup> El direccionalismo (la *flecha del tiempo*) sí que aparece, pues, en Buffon, pero matizado por la persistencia de una componente cíclica, lo que da origen a una *espiral del tiempo*<sup>71</sup> que deja fuera la primera “época”, la verdad es que no demasiado distinta cualitativamente de ese *eón Hadiano* (término derivado de Hades) que designa hoy en día la primera fase, prebiótica, de la historia de la Tierra.

Aparte de esto, vemos como Buffon evolucionó de más a menos actualista, puesto que en un principio sólo contemplaba la acción de causas análogas a las que se observan en la actualidad, para acabar por admitir una etapa inicial *sui generis*, así como una variación continua de la energía medioambiental, de signo decreciente.

Ellemerger piensa que Buffon conoció, y plagió parcialmente, la obra de un compatriota suyo, Nicolas-Antoine de Boulanger (1722-1759). Dicha obra, *Les Anecdotes de la Nature*, quedó inédita y es conocida por un único manuscrito.<sup>72</sup> En ella, Boulanger presenta una visión de los cambios en la geomorfología y en los depósitos sedimentarios que exige acontecimientos periódicos sumamente enérgicos, si es que no catastróficos, protagonizados por el agua (“torrentes gigantes”). Se trata, pues, de un *neptunismo cíclico* no direccionalista (puesto que el resultado de los

---

<sup>69</sup> Gohau, G., *op. cit.*, p. 105.

<sup>70</sup> Buffon, *Les Époques de la Nature*, “Premier Discours”, pp. 7-28; reedic. cit., pp. 6-18.

<sup>71</sup> Ver Gould, S.J., *op. cit.*

<sup>72</sup> Boulanger, N.A., *Les Anecdotes de la Nature* (manuscrito), 1753, Bibliothèque du Muséum d’Histoire Naturelle de Paris, cit. por Ellemerger, F., *Histoire de la géologie*, t. 2, pp. 197-210.

episodios diluviales no son cambios cualitativos irreversibles ni depósitos específicos de cada episodio) que necesita “miles de siglos” para desarrollarse. Como, por otra parte, Boullanger no estaba interesado en unas causas ígneas internas (*plutónicas*) que ni siquiera llegó a evocar, yo no puedo ver en él ese “pionero de genio desconocido” que es para Ellemerger<sup>73</sup>, quien le considera un precursor de Hutton. A mi modo de ver, este naturalista, muy dotado por lo demás para percibir e interpretar los detalles (morfológicos, petrológicos, etc.), era simplemente un seguidor del Aristóteles de los *Meteorológicos*, con matiz catastrofista.

Ecos más estoicos que aristotélicos<sup>74</sup> se detectan en Kant que, en su *etapa precrítica*, se ocupó también del origen y la evolución de la Tierra. No sólo el filósofo germano fue el primero en proponer un origen nebuloso para el sistema solar (es la hipótesis conocida como “de Kant-Laplace” por haber sido retomada unas cuantas décadas más tarde por el célebre científico francés), sino que nos recuerda García Cruz que Kant sostuvo en 1755 que sobre nuestro planeta se despliega una “alternancia de mundos”, a lo largo de “un tiempo inmenso o incluso eterno”.<sup>75</sup> Y nos suministra una cita en la que cabe, me parece, apreciar de forma especialmente nítida la presencia de esos dobles ecos:

Grandes partes habitadas de la superficie terrestre son sepultadas una y otra vez en el mar de donde surgieron en una época favorable; mas en otros parajes, la naturaleza compensa la carencia y produce otras regiones que estaban sumergidas a gran profundidad. De la misma forma, los mundos y el sistema del mundo perecen y desaparecen en el abismo de la eternidad.<sup>76</sup>

Vemos como la recuperación de antiguas tradiciones culturales con núcleos

---

<sup>73</sup> Ellemerger, F., *Histoire de la géologie*, t. 2, p. 197.

<sup>74</sup> Aunque estos últimos están también presentes, desde luego.

<sup>75</sup> Kant, I., *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, par. II, sec. 7, H. Fischer Verlag, Erlangen, 1988; cit. por García Cruz, C.M., “Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico” en *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 2001 (9.3), pp. 222-234.

<sup>76</sup> Kant, I., *Allgemeine Naturgeschichte...*, p. 119.

paradigmáticos reconocibles ha sido muy importante en la historia de la aproximación conceptual a la Tierra y sus procesos de cambio. Se diría que en la historia de las ciencias de la Tierra se observa, más que en la historia de otras ciencias, un retorno en ciclicidad espiral (que no en circularidad) de determinados paradigmas: nociones e imágenes-guía, desechadas en un momento dado (abriendo, de tal modo, espacio a la exploración de otras), son rehabilitadas y profundizadas en una época posterior. Es *toda una metodología históricamente generada*, y no predeterminada por una construcción lógica atemporal, la que aquí se nos revela.

Sea como fuere, numerosos conceptos básicos, principios reguladores e imágenes paradigmáticas que han tenido gran importancia en la ulterior historia de la ciencia geológica, se barajaban ya hacia 1775. Y si esto no ofrece duda en lo que se refiere al “programa neptunista”, igualmente constatamos que por entonces ya estaban puestos, prácticamente, los cimientos del plutonismo, la concepción de un predominio neto de las “causas ígneas” en la formación y evolución de la Tierra. Buffon concibió dichas causas como actantes *únicamente en el pasado*, cuando el calor formacional primigenio todavía era elevado, pero el verdadero problema surgía cuando alguien pretendía que las causas ígneas actúan también en el presente, pues ¿cuál puede ser en tal caso la fuente energética? Si las montañas no estaban ahí desde el principio ni se habían formado todas al mismo tiempo (como numerosos biblistas defendían), sino que lo habían hecho en varias pulsiones orogénicas diacrónicas, entonces había que pasar a considerar posibles causas ígneas, mucho más verosímiles que las acuosas de cara a explicar semejante proceso de elevación repetitivo. Dichas causas tenían, no obstante, en contra suya la postura empirista estricta, ya que nadie había visto nunca levantarse montañas. Pero ¿es esto último completamente cierto? Porque están los volcanes... El *vulcanismo* fue –antes que el “plutonismo arcaico” de Buffon– la primera *teoría ígnea* de la evolución de la corteza terrestre. Esbozada ya en el modelo de Kircher, en la primera mitad del siglo XVII, antes de mediar el XVIII Lazzaro Moro (1687-1764) la consagró plenamente, partiendo de los datos que él mismo había recogido, del nacimiento -a consecuencia de efusiones volcánicas- de pequeñas islas y de montes aislados. Hace notar que, si esto sucede en nuestros tiempos, habrá ocurrido

también en el pasado (observación típica mente *actualista*), por lo que las montañas deben tener origen volcánico.<sup>77</sup> La gran altura de numerosas cumbres se convirtió en un argumento poderoso a favor de este punto de vista y en contra de la teoría de la formación submarina de las montañas por depósito de materiales. En cuanto a la fuente calórica, Moro se mantuvo dubitativo entre dos causas radicalmente distintas: la primera de ellas, el *calor interno terrestre*, responde a una geo-tradición que nunca había sido olvidada del todo, pero parece que consideró también como segunda posibilidad la combustión subterránea de minas de carbón. Esta posibilidad había sido planteada por primera vez por Agrícola (1494-1555)<sup>78</sup>, pero fue sobre todo a partir del momento en que empezó a ser explotada de forma intensiva cuando la negra reserva energética adquirió un carácter fascinante para el hombre occidental y pasó a ser

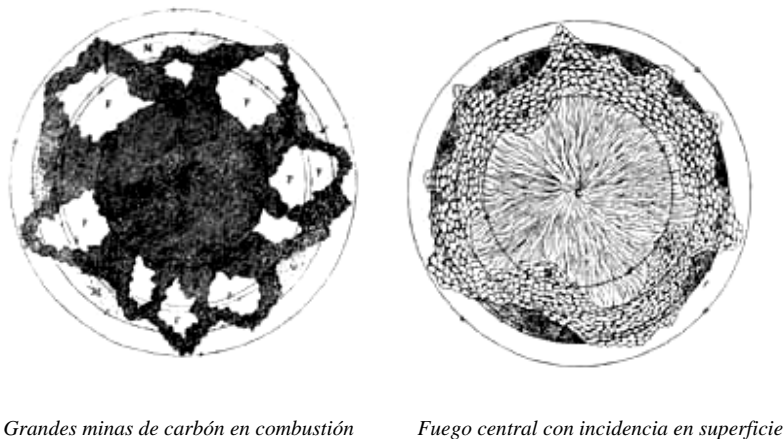


Figura 8. Las dos hipótesis de Lazzaro Moro

tenida, durante bastante tiempo, por una importante fuente de energía telúrica. De todos modos, la hipótesis del “origen húmedo” del relieve siguió siendo la predominante durante todo el Siglo de las Luces, y el naturalista sueco Linneo (1707-1778) contribuyó a reforzarla con su afirmación de que la superficie de las tierras habitables no cesa de aumentar. En las primeras décadas del siglo, Celsius (1701-1744)

<sup>77</sup> Moro, L. (1740), *De crostacei e degli altri marini corpi che si trovano su'monti*; cit. por Deparís & Legros, *op. cit.*, pp. 159-160.

<sup>78</sup> Según recuerda Arthur Holmes en su *Geología física*, Omega, Barcelona, 1980, p. 67.

había realizado una serie de mediciones del nivel del Mar Báltico que condujeron a pensar que está descendiendo, un dato que Linneo consideró ampliamente generalizable en su *Disertación sobre el acrecentamiento de la tierra habitable* (1744), donde aseguraba que la Tierra estaba enteramente cubierta por las aguas “poco después de la creación, hace unos 6000 años”, y por supuesto a causa del Diluvio, cuyas aguas, según Linneo, no se retiraron de golpe sino que lo hicieron –y lo siguen haciendo– de manera lenta y continuada, en un proceso que se prosigue desde los tiempos de la gran inundación bíblica. Tanto la dispersión de las especies (confinadas “por parejas”, durante el Diluvio, en una isla-arca ecuatorial) como la formación de las montañas estarían, pues, ligadas a ese parsimonioso descenso de las aguas diluviales.<sup>79</sup>

En lugar de oponerlos irreductiblemente, ¿no podría encontrarse una peculiar forma de cooperación entre el agua y el fuego que se revelara capaz de explicar la formación de las montañas y, de paso, otros fenómenos, como terremotos, volcanes, géiseres, etc.? Es lo que pensaba el británico John T. Needham (1713-1781) quien, conocedor de las propiedades de la fuerza expansiva del vapor, que utilizó Newcomen para construir una primera máquina térmica (todavía sin aplicaciones prácticas) en 1705, planteó –en la *Teoría de la Tierra* que publicó en 1769, el mismo año de la máquina de Watt– que el fuego central, cuyas ramificaciones llegan hasta la superficie del globo, engendra una *fuerza interna expansiva* que tiende a levantar la corteza terrestre.<sup>80</sup> He aquí una imagen geológica que no sólo nos trae a la memoria las sugerentes láminas del *Mundus subterraneus* de Kircher, sino que contiene también ecos de la vieja idea expresada en la Edad Media por Avicena y recogida por San Alberto Magno. Si los materiales corticales resisten al empuje de esa fuerza, permanecen horizontales formando llanuras; si ceden algo, se abomban dando origen a montañas; y si llegan a romperse, aparecen los fenómenos volcánicos. Los seísmos son, naturalmente, sacudidas internas que produce el “vapor expansivo” al desplazarse por las entrañas de Gea. Needham consideraba compatible su *mecanicismo* “expansionista” con un cierto

---

<sup>79</sup> Gohau, G., *op. cit.*, pp. 93-94.

<sup>80</sup> Needham, J.T., *Nouvelles recherches physiques et métaphysiques..., avec une nouvelle Théorie de la Terre*; cit. por Deparis & Legros, *op. cit.*, p.228.

*organicismo:*

Incluso resulta mucho más conforme a nuestras ideas físicas mirar la Tierra como una especie de globo vital organizado a su manera, y atribuir su figura exterior a la acción de causas interiores. Como cuando se ve sobre el cuerpo de un animal una excrescencia mucho más grande, teniendo en cuenta su volumen, de lo que lo es la más alta montaña con relación a la Tierra, no se le ocurre nunca a nadie dudar de que se trata de un efecto inmediato de la fuerza vegetativa interior de la que ese cuerpo está animado.<sup>81</sup>

Sea como fuere, la *máquina* acababa de ser entronizada –más claramente aun que por el propio Descartes, y que por Steno– como tercer modelo paradigmático del planeta que constituye el objeto singular de estudio de la geología clásica. Es de notar que el modelo concreto de la máquina de vapor conserva aun cierta vigencia en vulcanología.

## **2. 8. Resumiendo: cuando una imagen vale más que mil palabras**

A lo largo de este primer capítulo historiográfico, hemos podido apreciar la sed de visualización, de aprehensión sintética mediante la imagen (de cara a la estructura) o la narración (en cuanto al devenir), que la Tierra –más o menos confundida con “el mundo”– ha despertado desde los más remotos tiempos. Esa misma sed presidió el

---

<sup>81</sup> *ibid.*, p. 228.



nacimiento de la geología, así como su desarrollo como ciencia, tal como veremos en el próximo capítulo.

Las primeras referencias escritas a la morada del hombre en el universo, la Tierra, se encuentran en textos mítico-religiosos. La *Teogonía* de Hesíodo y el *Génesis* (de autor desconocido) son, en Occidente, los más prestigiosos de dichos textos. Los mismos proponen, en opinión del autor, dos *gestalten* radicalmente opuestas de la Tierra, cuyos contradictorios ecos se detectan a todo lo largo de la historia de las aproximaciones cognitivas –precientíficas y científicas– al planeta que habitamos.

La especulación sobre la forma interna y los procesos constitutivos de nuestro mundo terrestre, durante un larguísimo período de cuyas primeras fases acabamos de tratar (pero que, de hecho, se prolongó en la etapa posterior, que suele considerarse ya plenamente científica), tuvo en buena medida carácter de exploración y fijación categorial. Los pensadores que, hace unos cuantos siglos, se enfocaban sobre la Tierra estaban estableciendo las bases conceptuales y sintético-visuales que harían posible la futura investigación racional de nuestra morada cósmica. El hecho es que a partir de indicios diversos –muy familiares unos, como la dualidad tierra-mar, algo menos otros, como los volcanes y los terremotos–, la facultad imaginativa de algunos puso en pie visiones esquemáticas del interior del globo, y de su formación y evolución, que en muchos casos nos parecen ingenuas, pero que en otros nos sorprenden por la aparente intuición de ciertas explicaciones que conectan con nuestros conocimientos actuales (es, por ejemplo, el caso de los *pirofilacios* de Kircher, en relación a las cámaras y penachos magmáticos; o el de los comienzos ígneos del planeta, según diferentes autores). Llama, por lo demás, la atención que la dogmática bíblica no consiguiera frenar la actividad reflexiva e “imaginante” de unos autores que, en muchos casos, se apartaban considerablemente del relato del *Génesis* (por ejemplo, en lo referente a la fusión primitiva del globo).

Con Steno se produce una bifurcación en cuanto al modo de considerar la Tierra: frente a la especulación *filosófico-natural* global, surgen los estudios locales. Nace la geología de pequeñas escalas que durante largo tiempo ha monopolizado la imagen del

geólogo como estudioso de los detalles estructurales (estratos, fallas, pliegues...), así como de los componentes minerales, etc. de la Tierra. Pero no por ello desaparece la preocupación por el planeta como un todo: se hace quizás todavía más minoritaria, se acentúa su dimensión “filosófica”, y permanece teñida de ese estilo narrativo, *imaginal* y romántico que reconocemos en un Hutton, un Werner, un Lyell (con su “regreso del ictosaurio”<sup>82</sup>), un Wegener y hasta un Tuzo Wilson. Se diría que los cálculos –en dosis moderadas, de todos modos– quedaban exclusivamente del lado de la geología local, mientras que era la imaginación la que alumbraba las hipótesis globales. Recordemos las teorías de la Tierra del diecisiete-dieciocho, y más cerca de nosotros, la deriva continental de Wegener, digno sucesor de los visionarios que han desfilado por las páginas precedentes.

Creo que ahora se puede entender mejor tanto la afirmación del geólogo Bradley acerca del papel irremplazable de la imaginación en toda aproximación científica a la Tierra, como la frase anticipadora del astrónomo Alfred Hoyle anunciando “un cambio en nuestra concepción del mundo cuando contemplemos, por fin, la Tierra desde el espacio exterior”.

---

<sup>82</sup> Ver Gould, S.J., *op. cit.*, cap. 4 (“Charles Lyell, historiador del tiempo cíclico”).

## Capítulo 3. La etapa inmadura de la geología científica (1780-1960)

### 3. 1. El nacimiento de la geología: neptunismo y plutonismo

#### 3. 1. 1. La escuela neptunista

Cuantos autores se han ocupado del tema han coincidido en notar que la existencia de varias escuelas (normalmente dos) rivales, sin que ninguna llegase a imponerse completamente, ha sido, en el ámbito específico de la geología, un rasgo más acusado y sobre todo mucho más duradero que en cualquier otra ciencia natural. Como ya se ha sugerido, el nacimiento mismo –a caballo de los siglos XVIII y XIX– de una geología que, por contar con una base observacional lo bastante considerable, se puede ya considerar científica, estuvo enmarcado por la polémica entre dos corrientes opuestas: la *neptunista* y la *plutonista*. El jefe de fila de la primera fue, durante numerosas décadas, el alemán Abraham Gottlob Werner (1749-1817), cuyas propuestas pueden considerarse herederas de una larga tradición que cabe calificar de anorganicista en la medida en que presupone una concepción de la Tierra como *vaso de precipitación*. Pero, por lo demás, esta corriente comprende visiones “unicistas” (un único depósito, que a su vez puede generarse repentina o paulatinamente) y visiones cíclicas (múltiples inundaciones, cada una de las cuales deposita unos materiales determinados), visiones naturalistas y visiones supernaturalistas (bíblicas), de modo que hay que reconocerle al neptunismo un considerable pluralismo interno, pese a contar con un único hilo conductor: la idea de que las rocas en su totalidad, o con muy escasas excepciones, han sido depositadas por un océano que, una sola o varias veces, cubrió la Tierra entera. Podría pensarse que las raíces de esta tradición se encuentran exclusivamente en la

componente judeocristiana de la cultura occidental, pero esto no es cierto al cien por cien, ya que hay que contar también con el antecedente de Lucrecio y su *decantación primordial* del mundo terreno a partir de un caos de naturaleza acuosa. De todos modos, es indudable que tanto la ascensión de esta *tradición de la Tierra* al estatus hegemónico, a finales del siglo XVII, como la defensa de sus últimas posiciones en las primeras décadas del siglo XIX, se asociaron a diferentes exégesis del mito bíblico del Diluvio.

Sin embargo, durante la etapa intermedia e indiscutiblemente hegemónica (aproximadamente de 1700 a 1800) de la vigencia del “paradigma neptunista”, su despliegue no estuvo excesivamente condicionado por consideraciones dogmáticas, y pudo concretizarse en la tentativa de dar cumplimiento a un verdadero programa – teórico y práctico– de investigación, en el sentido de Lakatos. De hecho, la concepción de este epistemólogo contemporáneo encuentra aquí un caso claro de aplicación. Los puntos esenciales de dicho programa eran los siguientes:

1. Establecimiento de un criterio, *obligatoriamente deposicional* (núcleo duro del programa), que permitiera fijar la antigüedad relativa de los distintos materiales presentes en la superficie terrestre y en el subsuelo accesible.
2. Comparación y evaluación del papel que, de cara a fijar tal criterio, juegan la litología, por un lado, y los fósiles (la paleontología), por otro.
3. Establecimiento de correlaciones fiables entre la edad de las formaciones y su riqueza mineralógica, metalúrgica y hullera.

La idea de una *disolución generalizada*, con ocasión del Diluvio, seguida de una resedimentación ordenada de los materiales, fue formulada –como ya vimos– por primera vez por Woodward, en la última década del siglo XVII. Esta hipótesis fue el hilo conductor de todas las grandes teorías neptunistas del siglo siguiente y principios del XIX. La disciplina a la que dichas teorías servían de fundamento no se llamaba geología sino *geognosia*, si bien el célebre neptunista ginebrino Jean-André De Luc

(1727-1817) se decantó, en 1778-79, por el primer término, considerándole el equivalente terrestre de la palabra *cosmología*.<sup>1</sup>

“Geognostas” fueron, pues, los tres grandes neptunistas de la escuela alemana: Lehmann (h. 1713 – 1767), Füchsel (1722 – 1773) y Werner; y junto a ellos, el italiano Arduino (1714 – 1795) y el francés D’Aubuisson de Voisins, discípulo de Werner, entre otros muchos, ya que la escuela alcanzó un auge notable.

Lehmann era ingeniero de minas, y su propósito se orientaba, en consecuencia, en el sentido de llevar a cabo una clasificación de los terrenos que fuese de utilidad para la extracción de minerales, sin rehuir por lo demás las teorizaciones, con tal de que no resultasen conflictivas. Seguramente fue por ello que clasificó todos los terrenos en “prediluviales” (*Ganggebirge*) o primordiales, ricos en filones minerales y formados en el mismo momento de la Creación del Mundo, y “diluviales” (*Flötzgebirge*), estratificados, menos ricos en yacimientos, y constituidos –como su nombre indica– al retirarse las aguas del Diluvio.<sup>2</sup>

Füchsel era, al contrario de Lehmann, un *ilustrado*... Creía en depósitos sedimentarios múltiples, debidos a numerosas inundaciones generalizadas que tendrían que haber cubierto, necesariamente, un lapso enorme de tiempo. La mayor complicación de su sistema, que dio a conocer en una obra en latín<sup>3</sup>, le llevaba a prescindir de toda referencia bíblica, y reflejaba además, de algún modo, esa larguísima extensión del “tiempo deposicional”.

En cuanto a las ideas de Werner, pueden resumirse así: todos los materiales de la Tierra, con las contadas excepciones que representan algunas lavas, son depósitos de un océano primordial que en un pasado de antigüedad indeterminada cubría completamente el globo; al descender paulatinamente el nivel de las aguas, las sustancias químicas que llevaban en disolución y en suspensión fueron precipitando

---

<sup>1</sup> Ver Ellemberger, F., *Histoire de la Géologie*, t. 2, p. 250.

<sup>2</sup> Lehmann, J.G., *Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebürgen...*, Berlín, 1756.

<sup>3</sup> Füchsel, G.C., *Historia terræ et maris, ex historia Thuringiæ...*, Rudolstadt, 1761.

escalonadamente, dando origen a los distintos tipos de rocas, cada uno de los cuales tiene, por tanto, una edad bien definida; así, el granito es, cronológicamente, el primer depósito, puramente químico y del todo inconcebible partiendo de un océano de las características del actual (se aprecia aquí el *antiaactualismo* que tan extendido estaba entre los neptunistas). Werner, que era ante todo mineralogista y petrólogo, no estaba en realidad demasiado interesado en entrar en disquisiciones teológicas a lo Lehmann. Su sistema geognóstico era útil para la prospección minera, y eso era lo que más contaba para él. Sólo en un segundo lugar –al menos en opinión de Ellemberger<sup>4</sup>– situaba los aspectos relativos a la génesis de las rocas, es decir, la doctrina neptunista propiamente dicha. Por lo demás, el mismo Ellemberger hace ver, aportando referencias concretas, que el supuesto fundamentalismo bíblico de Werner no resulta sostenible, ya que defendió en más de una ocasión la necesidad de contar con “enormes períodos de tiempo”, incluso “un millón de años”, para la precipitación de las “rocas primitivas”.<sup>5</sup>

Contemporáneo de Werner, el ya mencionado J.-A. De Luc introdujo diversas matizaciones en la doctrina neptunista. La principal consistió en radicalizar la postura antiactualista, insistiendo en que las causas, fundamentalmente acuosas, de la formación de los continentes, las cordilleras y las rocas corresponden en su totalidad a procesos que *no se dan en el presente*. La división entre el “pasado geológicamente activo” y el “presente no activo” estaría, según él, marcada por el último cataclismo diluvial, y tiene ante todo que ver con el empobrecimiento en sustancias disueltas que habría sufrido el mar. Esta idea se encuentra igualmente en Werner –como acabamos de ver– y en muchos otros neptunistas, pero De Luc la lleva al extremo, hasta el punto de afirmar que un “líquido” de composición completamente distinta a la del agua llenaba las cuencas oceánicas antiguas. Este líquido variaba además su composición, de tiempo en tiempo, a causa de los fluidos subterráneos que se le adicionaban con ocasión de grandes hundimientos, sea del suelo oceánico, sea del continental (con liberación, en este último caso, de corrientes venenosas que acababan en el mar). La toxicidad de

---

<sup>4</sup> Ellemberger, F., *Histoire de la Géologie*, t. 2, p. 247.

<sup>5</sup> Werner, A.G., *Kurze Klassifikation...*, p. 5, y manuscrito correspondiente, cit. por Guntau, M., *Abraham Gottlob Werner*, B.S.B. Teubner, Leipzig, 1984, p. 71.

estos añadidos periódicos habría sido la causa de las grandes extinciones de animales y plantas, constatables –ya en tiempos de De Luc– a nivel estratigráfico. Para explicar el repoblamiento biológico de la Tierra, tras cada episodio de extinción, De Luc se inclinaba por la generación espontánea de nuevas especies, e incluso por el transformismo (o evolucionismo predarwiniano), en contra del parecer del británico William Smith y del francés Cuvier quienes, para hacer frente al mismo problema, preconizaban las creaciones repetidas.<sup>6</sup> Hay que subrayar que estos tres autores, De Luc, William Smith y Cuvier, fueron los primeros promotores de la paleontología estratigráfica, la disciplina que permite datar los terrenos geológicos por medio de fósiles característicos que corresponden a una determinada *edad* y a un determinado *medio*. Aunque, bien entendido, el ginebrino no hizo más que señalar el valor potencial de este método, permaneciendo fundamentalmente fiel al *litologismo* neptunista, que pretendía que idénticos materiales tienen, en todas partes, la misma edad, puesto que proceden de un mismo “líquido” poseedor de unas características químicas, de temperatura, etc. bien definidas. Por lo demás, la clasificación de las formaciones rocosas que De Luc manejaba, con seis unidades estratigráficas, se correspondía con la de Werner.<sup>7</sup>

### 3. 1. 2. James Hutton y la tradición geo-organicista

Suele considerarse al agricultor y médico inglés James Hutton como el creador de la otra gran escuela geológica de finales del Siglo de la Luces, la plutonista, que se distingue de la larga tradición vulcanista cuyo arranque se sitúa en Kircher. En todo caso, las propuestas de Hutton iban más lejos que establecer el origen de las rocas,

---

<sup>6</sup> Al parecer, William Smith mantuvo esta creencia con mayor firmeza que Cuvier. François Ellemberger aporta significativas citas que muestran que mientras que el inglés sostuvo toda su vida que “las creaciones de especies, y sus *destrucciones periódicas por el agua* poseen carácter sobrenatural”, el francés dio marcha atrás hacia el final de su vida en lo que se refiere a esta curiosa teoría de compromiso científico-teológico. Ver Ellemberger, *Histoire de la Géologie*, t. 2, p. 302.

<sup>7</sup> Según Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, p. 35.

puesto que definían el concepto de *ciclo geológico* y especificaban sus fases, a saber: 1. levantamiento orogénico por la acción de fuerzas endógenas ligadas al calor interno terrestre; 2. erosión y arrasamiento de las montañas; 3. nuevo levantamiento orogénico. Por su repetición indefinida (un dato fácilmente contrastable en el registro estratigráfico) que se continúa hasta el presente, los ciclos de Hutton sugerían una edad de la Tierra literalmente inimaginable, y condujeron por lo demás al autor de la teoría – médico, no lo olvidemos– a proponer una audaz visión organicista del planeta: en su monumental *Theory of Earth* (1ª edición, 1788; 2ª edición, “with proofs and illustrations”, 1795) Hutton subraya el carácter regenerativo de los procesos cíclicos que caracterizan la dinámica de nuestro globo. S.J. Gould ha destacado el paralelismo de la “Tierra cíclica” huttoniana con el animal-máquina cartesiano<sup>8</sup>, pero dicho paralelismo pide algún comentario porque no deja de presentar problemas. Por mi parte, encuentro mucho más clara la inspiración aristotélica. Veamos, si no, este párrafo de *Theory of Earth*:

De las cimas de las montañas a las costas marinas, todos los suelos están sujetos a ser removidos de sus lugares para ser depositados en lugares más bajos; de esta manera se procede gradualmente, desde la montaña hasta el río, y del río, paso a paso, hasta el mar. Si el suelo vegetal es así removido constantemente de la superficie de la Tierra, y si su lugar es cedido de esta manera para que se lleve a cabo la disolución de la Tierra sólida, (...) podemos ciertamente percibir un fin para esta máquina maravillosa; un fin del que surge la idea de que la destructibilidad de sus tierras es muy necesaria para el sistema del globo, para la economía de la vida y de la vegetación. Puede, pues, concluirse que la permanencia aparente de esta Tierra no es real o absoluta, y que la fertilidad de su superficie –al igual que el estado saludable de los animales– debe tener su período y ser sucedido por otro.<sup>9</sup>

Es cierto que Hutton habla aquí de “una máquina para la que se puede percibir un fin”. Pero ¿un fin *para quién*? ¿Para su constructor, es decir, Dios? ¿para el hombre? ¿para la vida? De hecho, Hutton mismo consideraba necesario aportar algunas aclaraciones suplementarias a su modelo “mecánico”:

---

<sup>8</sup> Gould, S.J., *op. cit.*, pp. 84-85.

<sup>9</sup> Hutton, J., *Theory of the Earth*, Edimburgo, 1788, p. 215.



Consideramos el globo de esta Tierra como una máquina constituida bajo principios químicos y mecánicos... Pero ¿este mundo debe considerarse meramente como una máquina que perdura no más tiempo que el que requieren sus partes para mantenerse en su actual posición y en sus propias formas y cualidades? ¿O es que no puede ser considerado también como un cuerpo organizado? Como un cuerpo tal que posee una constitución que implica que, al descomponerse su maquinaria, sea ésta reparada de forma natural en el ejercicio de los poderes generativos por los cuales ha sido formado.<sup>10</sup>

No podrá extrañar, por tanto, la afirmación de McIntyre, de que “el secreto de Hutton estribó en que consideró al mundo como una especie de superorganismo; no tuvo la mente estrecha de un especialista, pues para él las ciencias biológicas estaban integradas con la física y, como él dice, *aquí tenemos un sistema compuesto de cosas que, en conjunto, forman un mundo viviente.*”<sup>11</sup>

Resulta, pues, que Hutton concebía la Tierra como una especie de entidad global, dotada de una circulación permanente de materia análoga a la circulación de la sangre, y poseedora, más generalmente, de ciclos vitales no muy distintos a los de los organismos; pero, por lo demás, no parecía tener del todo claro si éstos últimos son, o no, equiparables a auténticas máquinas. Teniendo en cuenta que esta misma duda ha estado flotando hasta hoy mismo y que reaparece siempre que resurgen las tesis organísmicas (como sucede ahora con la teoría de Gaia), podemos pensar que el hecho de que ya se le plantease a Hutton más bien subraya su condición de precursor de una *ciencia de la Tierra-sistema*, de una ciencia que ni siquiera corresponde a la geología del siglo que siguió al suyo, pero que sí está desarrollándose hoy en día.

Conviene recordar que Hutton consideraba esencial el papel que jugaba el agua en el funcionamiento de los ciclos geológicos, y que admitía que la mayoría de las rocas, las sedimentarias (que él estimaba que representan “el 90 ó 99% de la parte visible de la Tierra”<sup>12</sup> se han formado en el fondo del mar. Es por ello que su principal discípulo y

---

<sup>10</sup> *ibid.*, pp. 215-216.

<sup>11</sup> McIntyre, D.B., *op. cit.* en C.C. Albritton, Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, pp. 17-18.

<sup>12</sup> Hutton, J., *op. cit.*, p. 221.

continuador, John Playfair, rechazaba la etiqueta de plutonista que se aplicaba al maestro, considerando la *teoría huttoniana* en equilibrio entre el neptunismo, que todo lo basa en la acción del agua, y el plutonismo, que todo lo funda en el fuego. “Tendríamos -dice- que considerar el fuego y el agua como las dos potencias que todas las operaciones están obligadas a utilizar, de tal modo que no difieren unas de otras más que por las distintas combinaciones de estos dos poderes”.<sup>13</sup> Los historiadores de la ciencia, sin embargo, han mantenido -quizá equivocadamente- la identificación estricta Hutton-plutonismo.

Una elemental comparación de las concepciones neptunistas típicas con las de Hutton muestra que mientras las primeras presentan la Tierra como una enorme probeta en la que precipitan sucesivamente materiales muy diversos, para las segundas se comporta como un sistema en equilibrio dinámico a largo plazo. Las concepciones globalistas del médico-geólogo de Edimburgo pueden resumirse en el término “geofisiología”, como lo justificarán un par de citas de su *Theory of Earth*:

La materia de este mundo activo está en perpetuo movimiento, y la saludable circulación crea la provisión, sabiamente hecha, para el crecimiento y prosperidad de las plantas y para la vida de los animales.(...)

Estamos en condiciones de observar la circulación de la materia en el globo, y el sistema de bella economía que rige las obras de la naturaleza. Esta Tierra, al igual que el cuerpo de un animal, se desgasta al mismo tiempo que se repara. Mantiene un estado de desarrollo y acrecentamiento, al igual que otro en el que disminuye y se destruye. De modo que en una parte se destruye y en otra se renueva.<sup>14</sup>

Lógico es, por tanto, que cuando Playfair asumió la tarea de explicar, ilustrar y, en alguna medida, también interpretar la visión de la Tierra de su maestro, no pudiera en modo alguno pasar por alto lo que era, de hecho, uno de los rasgos fundamentales de

---

<sup>13</sup> Ver Playfair, J., *Explication de Playfair sur la Théorie de la Terre par Hutton*, trad. fr. de Basset, Bossange et Masson, París, 1815, pp 394-399 y 418-419.

<sup>14</sup> Hutton, J., *Theory of the Earth, with proofs and illustrations*, Edimburgo, 1795, IV part (“System of Decay & Renovation observed in the Earth”), pp. 285-304.

la misma:

Lo que hace particularmente excelente esta teoría [*la de Hutton*] es que atribuye a los fenómenos geológicos un orden análogo al que existe en las funciones de la Naturaleza que nos son más familiares; es que produce los mares y los continentes, no por accidente, sino por causas regulares y uniformes; es que hace que la destrucción de una parte sirva para la restauración de otra, y dé estabilidad al todo, no perpetuando los individuos, sino reproduciéndolos incesantemente.<sup>15</sup>

La concepción presentada por Playfair justificaba ampliamente que el traductor al francés de su *Explication*, Basset, comparase elogiosamente al geólogo escocés con los geo-vitalistas de la Grecia antigua, entre ellos Aristóteles, de quien se tomó la libertad de reproducir, en nota a pie de página, el siguiente fragmento de la *Carta a Alejandro Magno sobre el sistema del mundo*:

La Tierra, revestida de plantas de todas clases, regada por aguas corrientes y de lluvia, poblada por diversidad de animales, produce según cada estación, nutre y llama a su seno a infinidad de seres de toda especie, conservando ella misma una eterna juventud a pesar de los diluvios que la inundan, a pesar de los fuegos que, en variados puntos, la consumen. Y hay más: estos espantosos fenómenos son útiles para su conservación, y aseguran su estado. Los terremotos la liberan de vientos internos, que escapan por los respiraderos que se abren aquí y allá. Las lluvias la limpian de perniciosos miasmas. Los fuertes vientos barren las impurezas del aire. Los incendios volatilizan las materias condensadas en exceso. Las heladas reúnen de nuevo aquellas sustancias que habían sido dispersadas o vaporizadas por el fuego. En fin, en lo que se refiere a sus partes constitutivas, unas nacen, otras florecen, otras mueren. Lo que nace reemplaza a lo que ha perecido; lo que perece deja sitio a lo que nace; y la naturaleza en su globalidad, pese a los denodados combates que libran las partes (de los cuales salen victoriosas unas veces, y derrotadas otras), se conserva a lo largo de los siglos.<sup>16</sup>

No es, pues, de extrañar que, en nuestros días, el padre de la hipótesis Gaia, J.E. Lovelock, considere que su propia concepción organicista de la Tierra entronca con el

---

<sup>15</sup> Playfair, J., *op. cit.*, p. 391.

<sup>16</sup> cit. en Playfair, J., *op. cit.*, p. 392, (a) *Note du traducteur*.

ideario del Dr. Hutton<sup>17</sup>, bebiendo de hecho los dos autores británicos en idénticas fuentes griegas.

En todo caso, no resulta fácil situar exactamente a un personaje de la complejidad humana de Hutton. Exaltado unánimemente por los autores anglosajones (al cumplirse el 150º aniversario de su fallecimiento, S.I. Tomkeieff se refirió a él, en un simposio celebrado en Edimburgo, como “el Newton de la geología”<sup>18</sup>) y algo desvalorizado por los historiadores franceses actuales, se diría que su figura tiende, de todos modos, a agrandarse en la misma medida que la de Lyell tiende a reducirse. Esto puede tener que ver con determinados rasgos de su personalidad, su biografía y su obra que hoy nos resultan enormemente sugerentes. Estaba, de entrada, su peculiar formación y actividad: habiéndose doctorado en medicina (por la Universidad de Leyden, con una significativa tesis a la que enseguida me referiré), nunca ejerció como médico, sino que se dedicó a cultivar sus tierras aplicando criterios racionales y “naturalistas” (más bien ecológicos, que diríamos hoy).<sup>19</sup> Estaba también su interés por la geología –vemos que se trataba de un *amateur*..., aunque en su época todos debían serlo– que nació de esas dos raíces, sus estudios de medicina y su contacto con la naturaleza, así como de un intenso afán de conocimiento lo más universal posible (escribió, de hecho, varios ensayos de filosofía). Estaba igualmente su capacidad para cambiar de escala, pues lo mismo predecía la existencia necesaria de las *discordancias estratigráficas* y se lanzaba, a continuación, al campo, hasta dar con alguna, que disertaba sobre el sistema orgánico global de la Tierra, y sobre su duración ilimitada. Y es que Hutton, que abordó problemas geológicos muy concretos (origen del granito y de las otras rocas, intrusiones magmáticas, modo de actuar la erosión y las fuerzas de levantamiento...) y que fue capaz de resolver brillantemente muchos de ellos, no era desde luego un “especialista”. Relacionaba por analogía ámbitos extremadamente diversos, y era menos metódico que

---

<sup>17</sup> Ver Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, Tusquets, Barcelona, 1993, pp. 23-24; ver también Joseph, L.E., *Gaia. La Tierra viviente*, Cuatro Vientos, Santiago de Chile, 1992, pp. 70-71.

<sup>18</sup> Tomkeieff, S.I., “James Hutton and the Philosophy of Geology”, *Proceed. (B) Royal Soc. Edinburgh*, vol. LXIII, 1948, pp. 387-400.

<sup>19</sup> Hutton también estudió química.

sus rivales neptunistas, entregados a la tarea de establecer una clasificación cronológica detallada (generalmente contando con plazos cortos, ¡a veces —p. ej., Kirwan—de no más de 6000 años!) de todos los terrenos geológicos conocidos. Hubo temas fundamentales, como la paleontología estratigráfica y en general todo lo que pudiese permitir datar de modo absoluto los terrenos (pues una datación relativa sí que venía dada por el criterio de superposición, formulado por Steno y perfeccionado por Hutton mismo), que apenas tocó; se le suele acusar de antihistórico por esto, y sobre todo por su insistencia en el ciclo, pero el hecho es que admitía rupturas puntuales del equilibrio, e incluso catástrofes aisladas que dejaban sus huellas, en forma -por ejemplo- de discordancias angulares. Y es que su modo de entender el uniformitarismo supone más enfatizar el “latido continuado del planeta” que negar los fenómenos excepcionales (marcadores de historia), de los que simplemente no se ocupó en especial.

Esta expresión de “latido continuado” constituye una importante clave del pensamiento de Hutton. Él era, en todo caso, más intuitivo-deductivo que inductivo, y su método consistía en salir al campo a buscar ejemplos de lo que había o bien deducido (partiendo sus deducciones de modelos concebidos por su fértil imaginación) o bien imaginado (utilizando una poderosa facultad imaginativa a la que guiaba siempre el razonamiento), y cuentan sus biógrafos que manifestaba el más ruidoso entusiasmo al encontrarlos ¡Hutton no intentaba precisamente falsar sus hipótesis!

Conviene tomar nota del antecedente que representa su tesis doctoral en medicina, *La sangre y su circulación en el microcosmos* (Leyden, 1749), señalado por McIntyre<sup>20</sup>, teniendo en cuenta que en la edición definitiva de *Theory of Earth*, publicada casi medio siglo después, en 1795, Hutton incluía este significativo párrafo: “La circulación de la sangre es la causa eficiente de la vida; pero la vida es la causa final no sólo de la circulación de la sangre sino de la revolución del orbe entero; por tanto, la explicación dada a los diferentes fenómenos de la Tierra debe estar de acuerdo con la efectiva

---

<sup>20</sup> McIntyre, D.B., *op. cit.*, pp. 20-21.

constitución de este planeta como un mundo vivo, esto es, como un mundo que mantiene un sistema de plantas y animales vivientes.”<sup>21</sup>

A la vista de semejantes tomas de posición de Hutton, Gabriel Gohau, historiador cartesiano de la geología, no puede evitar exclamar: “Hemos aquí nuevamente ante la vieja metáfora del microcosmos. ¿Es que no tendríamos nada mejor que oponer a la *geognosia* [werneriana] y a sus observaciones, tan útiles para la minería, que las ingenuidades finalistas de un médico agricultor que deduce el levantamiento de las montañas de la necesidad de que el suelo se perpetúe para permitir la continuidad de los cultivos?” (Para añadir enseguida que, de todas maneras, el Dr. Hutton no era tan nulo, ya que se hallaba bien dispuesto hacia el progreso técnico).<sup>22</sup> Doscientos años después, *gaianos* y cartesianos contemplan, pues, a Hutton con ojos bien distintos.

### 3. 1. 3. Los primeros paradigmas geológicos

Acabamos de echar un vistazo somero a las dos grandes escuelas, la neptunista y la huttoniana (denominada plutonista), que son tenidas comunmente por *parteras* de la ciencia geológica, en la bisagra de los siglos XVIII y XIX. Antes de seguir avanzando históricamente, creo oportuno tratar de responder a dos preguntas importantes. La primera se refiere a la peculiar científicidad de ambas escuelas. La segunda, a la pertinencia o no de considerar paradigmáticas, en sentido kuhniano, las concepciones de fondo en que se apoyaban.

Por lo que se refiere a la primera cuestión, es innegable que los sostenedores de ambas concepciones tenían, todos, una fuerte vocación de contrastación empírica sobre el terreno; pero, eso sí, siempre desde el prisma innegociable de sus respectivas ideas-guía. Esto vale lo mismo para Werner y De Luc que para Hutton y Playfair: todos ellos salen al campo a buscar lo que quieren ver, y todos son literalmente ciegos a todo aquello que contradice su esquema previo. ¿Matices? Quizás la obstinación de Werner

---

<sup>21</sup> Hutton, J., *Theory of the Earth, with proofs and illustrations*, II part, pp. 545-546.

<sup>22</sup> Gohau, G., *op. cit.*, p. 128-129.

fuese mayor que la de Hutton, habida cuenta que se negaba en redondo a ver granitos sobre estratos jóvenes, aunque estuviesen ahí palpablemente, porque su presencia contrariaba su sistema, en el que todo el granito (sedimentario, según él) pertenece a la *formación primitiva*. No cabe duda de que el caso de las escuelas neptunista y plutonista es, valga la redundancia, paradigmático en relación a la propuesta kuhniana de que paradigmas previamente asumidos “filtran” la percepción de los datos. Por otra parte, las dos concepciones vehiculaban, desde luego, metafísicas y hasta mitologías con unos trasfondos que no eran los mismos. Del lado del neptunismo, la *gestalt* de una disolución acuosa generalizada y de una precipitación gradual posterior nos remite a la pasividad de la tierra que contrasta con la naturaleza genésica del agua, que aparece como el elemento matricial (las *aguas madres*) del proceso formativo que la *natura naturans* lleva a cabo precisamente en su seno. Estamos, pues, de algún modo, en contacto con la tradición neohermética renacentista, recuperada por la Naturphilosophie. Es esto lo que explícitamente plantea Ellemerger al postular un nexo entre una cierta recepción prerromántica del neptunismo, muy del gusto -al parecer- de un Novalis, y la mencionada corriente filosófica.<sup>23</sup> Ahora bien, dicho vínculo es, a mi modo de ver, más claro todavía en el caso del “plutonista” Hutton. La visión organicista que él tiene de la Tierra, y la geofisiología que, a partir de ahí, se esboza, están muy cerca de las intuiciones de un Goethe acerca de la Naturaleza. Esta proximidad de la naciente geología científica con respecto a la *ciencia romántica* me parece un dato originario que ha marcado apreciablemente la evolución ulterior de la ciencia de la Tierra. Pienso que, en todo caso, tal impronta es mucho más acusada en ella que en las otras ciencias naturales, y que un seguimiento de la historia de la geología hasta la actualidad es susceptible de ponerla de manifiesto.

Queda la segunda pregunta: ¿se estructuraron, hace ahora algo más de dos siglos, las escuelas neptunista y plutonista en torno a *paradigmas*, en el sentido kuhniano del término? La formulación misma de la pregunta presupone ya una respuesta negativa, puesto que se trataba de *dos* escuelas rivales, y ninguna de ellas predominaba claramente. Pues alrededor de 1800 no existía acuerdo alguno entre los naturalistas

---

<sup>23</sup> Ellemerger, F., *Histoire de la Géologie*, t. 2, pp. 41 y 271.

acerca de las causas generales que habían conducido a la presente conformación del globo, ni acerca de si dichas causas conservan eficacia actualmente o la han perdido. La condición de “un consenso casi general”, básica para Kuhn, no se cumplía por tanto.

Cierto, no obstante, que en el siglo que va de 1680 a 1780, los modelos neptunistas habían sido mayoritarios dentro del amplio abanico de teorías de la Tierra que por entonces se desplegó. Pero –aparte de que tampoco eran los únicos, ni mucho menos– aquella fase de la historia de la indagación sobre la Tierra no puede ser considerada todavía científica. Pienso, ya lo he dicho, que hay que considerarla más bien como una etapa precientífica de enriquecimiento del *imaginario categorial*, necesaria para poder emprender la investigación del “objeto Tierra”.

Contando con esto, cabría admitir que, en un sentido que no es exactamente el de Kuhn<sup>24</sup>, las escuelas neptunista y plutonista sí que se basaron en sendos paradigmas (incluso sumamente nítidos), en *gestalten* de resonancias mitológicas<sup>25</sup> y de gran potencial intuitivo, susceptibles de orientar a la comprensión de aspectos básicos de la dinámica de nuestro globo.

### **3. 2. De la polémica catastrofismo-actualismo al ascenso del direccionalismo**

Recordemos que durante un par de siglos al menos, los estudios geológicos constituyeron un escenario destacadísimo de la confrontación entre los defensores de la ortodoxia bíblica y sus oponentes. En Inglaterra sobre todo, pero no únicamente allí, las

---

<sup>24</sup> Y que asumiría, más bien, las matizaciones de Edgar Morin y de Gilbert Durand sobre el concepto de paradigma.

<sup>25</sup> Presentes, de entrada, en los nombres de ambas escuelas.



doctrinas neptunistas se presentaron asociadas a la postura dogmática según la cual el libro del *Génesis* contiene una descripción literal, e incluso detallada, de la historia del mundo; y ello, partiendo de que la extensión generalizada del océano primordial que tales doctrinas propugnaban evocaba fuertemente la inundación del Diluvio Universal, y de que los fenómenos que describían las teorías wernerianas no exigían, en principio, períodos de tiempo excesivamente dilatados. De todos modos el biblista más acérrimo de la escuela neptunista fue el inglés R. Kirwan (1733-1812), acérrimo adversario del “ateo Hutton”, que se basaba directamente en el Génesis para establecer las cronologías y clasificar los sedimentos.<sup>26</sup> La verdad es que el debate filosófico-científico abierto por las nuevas concepciones geológicas estuvo sesgado durante demasiado tiempo por la polémica sobre las concordancias bíblicas heredada de los siglos precedentes, que lo empobreció y frenó. Esto puede explicar la crispación de numerosos geólogos de los siglos XIX y XX ante cualquier teoría que, aun de lejos, pudiera tener “resonancias bíblicas”. Algunas concepciones catastrofistas de inspiración científica fueron víctimas de esta situación, como enseguida veremos.

En el transcurso de la primera mitad del siglo XIX, el neptunismo fue decayendo hasta desaparecer, al mostrarse incapaz de hacer frente a las abundantes pruebas de que el interior del globo se encuentra a elevada temperatura, así como a la elemental reflexión de que dicho calor habrá tenido por fuerza algo que ver con la formación de las montañas y de numerosas rocas. Parecería entonces que la concepción órgano-cíclica de una Tierra en equilibrio dinámico no debería encontrar ya mayores obstáculos. Nada más lejos de la realidad, sin embargo. Los mitos predilectos de Hutton y Playfair no eran al parecer los que predominaban en la sociedad decimonónica, y quizá por ello se produjo enseguida un neto desplazamiento del foco de atención de los geólogos, que sesgó nuevamente la imagen de la Tierra hacia el “mero escenario de sucesos geológicos”: la polémica científica que sustituyó a la anterior tenía que ver no tanto con la naturaleza y el ritmo de los procesos, como con *su similitud o disimilitud con los fenómenos que observamos actualmente*. Se trata del debate que enfrentó a los catastrofistas con los uniformitariastas encabezados por Lyell (1797-1875), importante

---

<sup>26</sup> Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, p. 34.

figura de la historia de la geología, cuyo entronque con la corriente huttoniana es claro, por más que fuese más bien indiferente a la visión geofisiológica del naturalista de Edimburgo. De todos modos, Thomas S. Kuhn ha exagerado, en opinión de diversos autores<sup>27</sup> (que comparto), la trascendencia de las propuestas de Lyell, a quien considera el fundador del “primer paradigma” de dicha ciencia.<sup>28</sup> La razón por la que este juicio concreto de Kuhn no resulta aceptable estriba en que Lyell jamás propuso un modelo general susceptible de dar cuenta de las realidades geológicas, sino que se limitó a defender un criterio metodológico para abordar su estudio, el *uniformitarismo*. Semejante criterio, aun mostrándose sumamente fructífero en una etapa del desarrollo de la geología, no puede tener la misma categoría teórica que el modelo geodinámico general propuesto por Hutton alrededor de cincuenta años antes.

Del principio uniformitario, en su versión lyelliana, ya hemos tratado ampliamente en el capítulo 1. Conviene señalar, de todos modos, que algunos autores marcan la diferencia entre el uniformitarismo y el actualismo. Según Hooykaas<sup>29</sup>, el primero de tales principios, que presupone la uniformidad de los procesos geológicos y de sus causas a lo largo del tiempo, comporta tres asunciones:

1. La validez de las leyes físicas no conoce límites temporales.
2. Las fuerzas geológicas que operan en el presente son, cualitativamente, las únicas que han operado en el pasado y que operarán en el futuro.

---

<sup>27</sup> Por ejemplo, Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, p. 164; también Elena, A., “¿Revoluciones en geología?” en *Arbor*, 486, CSIC, Madrid, 1986, pp. 9-45.

<sup>28</sup> “...*ciencia normal* significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce durante cierto tiempo como fundamento de su práctica posterior. En la actualidad, esas realizaciones son relatadas, aunque raramente en su forma original, por los libros de texto científicos (...) La *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Tolomeo, los *Principios* y la *Óptica* de Newton, la *Electricidad* de Franklin, la *Química* de Lavoisier y la *Geología* de Lyell —estas y muchas otras obras sirvieron implícitamente, durante cierto tiempo, para definir los problemas y métodos legítimos de un campo de la investigación, para generaciones sucesivas de científicos.” (Kuhn, T.S., *La estructura...*, p. 33). Es cierto que Kuhn habla aquí de *métodos* legítimos, así que podría quizás admitirse que Lyell estableció un “paradigma” exclusivamente metodológico.

<sup>29</sup> Hooykaas, R., *The principle of uniformity in geology, biology and theology*, Leiden, 1963.

3. Las fuerzas geológicas no sólo son invariables cualitativamente, sino que la energía que despliegan tampoco puede conocer grandes variaciones, de modo que la referencia correcta es siempre su intensidad actual.

Este sería el uniformitarismo estricto y *ontologizado* de Lyell. Pero hacia la misma época, algunos geólogos alemanes, como von Hoff<sup>30</sup>, propusieron una versión débil del principio, que llamaron *Aktualismus* y que descartaba el punto 3. Hoy en día, se considera el uniformitarismo o actualismo (puesto que, de hecho, no suelen distinguirse) como un *principio regulador* que ha guiado largo tiempo la investigación geológica, evitándole desvaríos excesivos y mejorando su heurística. Pero en ningún caso como un principio constitutivo de la naturaleza, que es como Lyell llegó a considerarlo. Los filósofos de la geología alemanes von Engelhardt y Zimmermann son quienes, hoy por hoy, más insisten en esta noción de principio regulador, y en su papel fundamental en la historia de la “Ciencia de la Tierra” (*Geowissenschaft*).<sup>31</sup>

Por el lado contrario, las posturas llamadas catastrofistas eran variopintas. Cubrían un amplio abanico que iba desde los últimos neptunistas, seguidores de De Luc más que de Werner, hasta Élie de Beaumont a quien se debe la primera formulación precisa de la *hipótesis direccionalista*, en los años 20-30 del siglo XIX. Tenían todas en común la insistencia en que grandes convulsiones de algún tipo, ocurridas en diferentes momentos del pasado, e inobservables actualmente, son las causas fundamentales de los macro-accidentes que configuran el globo terráqueo (distribución mares-continentes, cadenas de montañas, etc.). Los catastrofistas han sido satanizados durante largo tiempo por los geólogos de la corriente dominante, actualista, que los han acusado de oscurantismo, viendo en ellos los herederos del integrismo diluvianista. Sin negar que *algunos* catastrofistas iban por ahí, está bien claro a estas alturas que la generalización de esa acusación ha tenido mucho de táctica orientada a dificultar el imprescindible debate sobre la notoria tendencia a hacer del actualismo una especie de dogma, no sólo

---

<sup>30</sup> Según von Engelhardt, W. & Zimmermann, J., *Theory of Earth Science*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 1988, p. 317.

<sup>31</sup> *Ibid.* Estos dos autores siguen a Kant en lo referente a estos conceptos epistemológicos (ver nota 81 del presente capítulo).

metodológico sino también ontológico, que ya se observaba en Lyell y que mantuvieron muchos de sus seguidores.

Vale la pena, llegados a este punto, dedicarle un cierto espacio a la concepción direccionalista de los procesos geológicos, que sí posee, a mi modo de ver, claros rasgos paradigmáticos. Que la Tierra irradia una cantidad apreciable de calor era algo generalmente admitido a principios del siglo XIX. No sólo están los volcanes, fumarolas y géiseres, sino también el gradiente geotérmico de las minas, el conocido dato de que la temperatura aumenta 1°C por cada 30 m de descenso. De hecho, ésta fue, como ya he indicado, una de las grandes bazas del plutonismo. Sin embargo, este dato no resultaba favorable, en el fondo, ni para las tesis huttonianas fundamentales ni para las lyellianas, y vamos a ver por qué.

Si, como pensaba el matemático y físico Fourier –entre otros muchos que, como él, seguían la pista marcada por Descartes y Buffon–, el calor interno de la Tierra no es otro que *el residual de la condensación del globo* (partiendo de la nebulosa primordial de Kant-Laplace), entonces tal calor debe ser necesariamente finito, y está llamado a disiparse por completo.<sup>32</sup> De ello, un proceso de deducción lógica puede llegar a desprender sin demasiada dificultad que: 1. la formación de las montañas debe tener por causa la contracción de la Tierra originada por su enfriamiento; 2. el flujo geotérmico en los primeros tiempos de la historia del planeta (cuando éste estaba muy caliente) tuvo que ser mayor que en la actualidad, de modo que los fenómenos volcánicos, sísmicos, etc., serían entonces mucho más intensos que hoy en día, en contradicción flagrante con la doctrina del actualismo ontológico estricto; 3. los ciclos geológicos tienen que hallarse limitados en el tiempo, hacia el pasado por el tope de edad que su origen mismo le impone al globo, y hacia el futuro por el enfriamiento progresivo que tiene lugar, y que coloca a la Tierra ante la perspectiva de una inexorable muerte térmica tras un período indeterminado de “agonía geológica” en el cual los fenómenos telúricos se producirán sólo de forma atenuada.

---

<sup>32</sup> Fourier, J. en *Annales de chimie et de physique*, vol. XXVII, 136, 1824, París.

En las últimas décadas, Rudwick se ha erigido en defensor del carácter paradigmático de la concepción direccionalista de la Tierra.<sup>33</sup> Pero, como señala Alberto Elena<sup>34</sup>, lo cierto es que el direccionalismo no fue una doctrina universalmente admitida, pues qué duda cabe que hay que contar también con Lyell y su modelo uniformitarista de régimen cíclico-estacionario. Todo parece indicar que el direccionalismo constituye más bien una *tradición científica* –formando, a su vez, parte de una tradición cultural más vasta– que un paradigma en sentido kuhniano, pues ya hemos visto como la idea de que la Tierra se enfría progresivamente aparece ya en Descartes y en Leibniz, y como Buffon hace de ella el hilo conductor de *Les Époques de la Nature*.

Planteadas por Élie de Beaumont la hipótesis de que la contracción terrestre suministra la explicación de las orogenias, los otros dos puntos que –junto con tal hipótesis– sintetizan el direccionalismo geológico se hicieron presentes rápidamente, impidiendo que el actualismo estricto de Lyell llegara a gozar del consenso general que Kuhn considera indispensable para que se pueda hablar con propiedad de una “concepción paradigmática”. Durante gran parte del siglo XIX estas dos corrientes, la uniformitarista y la direccionalista, se mantuvieron enfrentadas, incluso –en algunos momentos– con virulencia.

Élie de Beaumont fue el “gran Satán” de Lyell, ya que unía a su condición de catastrofista la de *no ser biblista* (admitía períodos extremadamente largos, y descartaba explícitamente lo sobrenatural), gozar de gran prestigio científico y poder académico en la vecina Francia, y... ser contemporáneo suyo. Su temperamento no era retórico y manipulador como el de Lyell, sino autoritario. De él se ha dicho que no toleraba discrepancias de parte de sus discípulos, lo que tuvo por consecuencia el que finalmente ninguno de ellos le permaneciera fiel. Su modelo de la dinámica terrestre tenía por hilo conductor una explicación contraccionista de la orogénesis tan rígida como su propio

---

<sup>33</sup> Ver Rudwick, M.J.S., “Uniformity and progression” en D.H.D. Roller (ed.), *Perspectives in the History of Science and Technology*, Norman, University of Oklahoma Press, 1971.

<sup>34</sup> Ver Elena, A., *op. cit.*

carácter: de Beaumont suponía que, cuando la contracción de la Tierra, debida al enfriamiento, superaba ciertos umbrales críticos, una orogenia se ponía en marcha. El Diluvio Universal quedaba sustituido, en su concepción catastrofista, por una elevación igualmente universal de montañas. Pero el cataclismo global que tal suceso implicaba, trastornaba el mapamundi, cambiando las líneas de costa, la disposición de los mares y los cursos de los ríos, de manera que las aguas causaban grandes desastres de todos modos; sin embargo, éstos no se limitaban a inundaciones, ya que cada orogenia venía acompañada de intenso vulcanismo y sismicidad. El resultado de todo ello era una extinción masiva de especies en cada levantamiento. Y el panorama que presentaba Élie de Beaumont no se acababa ahí: él creía que cada impulso orogénico generaba cadenas de montañas de la misma dirección (por ejemplo, este-oeste), y que sólo había cinco direcciones geográficas posibles, de manera que un inmenso dodecaedro –lleno de resonancias pitagóricas y platónicas– acababa dibujándose sobre la faz del globo. Partiendo de esta base, la apreciación de la dirección de las cadenas de montañas (¡que tenían, *por fuerza*, que ser rectilíneas!) bastaba para saber a qué orogenia pertenecían, y para establecer, a partir de ahí, su edad.<sup>35</sup>

Podría estimarse que Élie de Beaumont era un dogmático que trataba, a toda costa, de conseguir que el mundo encajara dentro de su sistema. Y aunque caben pocas dudas de que dogmático efectivamente lo era, de nuevo las cosas son menos simples de lo que parece a primera vista. La sola acumulación lenta y paulatina de pequeños movimientos, según el principio de uniformidad lyelliano, se enfrentaba con serias dificultades de cara a explicar el “hecho bruto” de la existencia de las montañas, pues la erosión actúa también incesantemente, de forma que equilibraría el tímido empuje uniforme y continuado autorizado por Lyell, y simplemente no habría montañas... Algún paroxismo, alguna aceleración capaz de compensar con creces, en un tiempo relativamente corto, el efecto destructor de la erosión, tiene que haber habido, desde el momento que existen montañas tan espectaculares como los Alpes, los Andes y el

---

<sup>35</sup> Élie de Beaumont, L., “Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe...”, *Annales des sciences naturelles*, 18 y 19, 1829, París; *Notices sur les systèmes de montagnes*, P. Bertrand, París, 1852.

Himalaya. Esta es la parte de la controversia en que la balanza se inclina del lado de Élie de Beaumont. Pero *están también sus cadenas de montañas perfectamente rectilíneas, que dibujan pentágonos, etc., etc.* Y ahí, el más elemental sentido común -y de observación- toma el partido de Lyell.

Que no se piense que la doctrina direccionalista no encontró eco en Gran Bretaña. Lyell tuvo que hacer frente, también en su propio país, a denodados oponentes cuyos puntos de vista estaban próximos a los de Élie de Beaumont. El principal de ellos fue Henry de la Bèche, traductor al inglés del geólogo galo y fundador de la Real Escuela de Minas británica. De la Bèche no fue, por otra parte, el único direccionalista inglés; citemos los nombres de Adam Sedgwick, William Conybeare y William Whewell, todos ellos contemporáneos de Lyell.<sup>36</sup>

Tengo la impresión de que las primeras grandes polémicas de la historia de la geología, y muy especialmente la que enfrentó a los uniformitaristas y a los catastrofistas, representados ante todo por sus líderes máximos, Charles Lyell y Léonce Élie de Beaumont, pueden, por la misma exageración de sus rasgos –que roza, en ocasiones, lo caricaturesco–, servir de ilustración del famoso tema de la inconmensurabilidad que Kuhn puso sobre la mesa en 1962. Desde un punto de vista historiográfico –y psicológico– está claro que Lyell y Élie de Beaumont (como antes Werner y Hutton) “habitaban en mundos diferentes”. Por descontado que objetivamente vivían en el mismo planeta, la Tierra, a cuyo conocimiento dedicaban además sus mayores esfuerzos, pero eran incapaces de verla de la misma manera. *Sus ojos, guiados por categorías teóricas diferentes, les hacían ver -incluso literalmente- Tierras distintas.* Y sobre todo, cada uno de ellos parecía ser incapaz de ver (o incluso entrever) “la Tierra” que veía el otro. Es de notar que aquí las referencias son claramente más visuales que lingüísticas; o lo que es lo mismo, se inclinan mucho más del lado del “primer Kuhn”, el de *La estructura...* (centrado en las reorganizaciones perceptuales de que se ocupa la *Gestalt*), que del “último Kuhn”, el que, de vuelta -en parte- al redil

---

<sup>36</sup> Ver Oreskes, N., *The rejection of Continental Drift*, pp. 12-13.

de la filosofía del lenguaje, trataba de reducir la inconmensurabilidad a problemas de traducción.

### **3. 3. La evolución de la imagen del interior de la Tierra**

El genio de Laplace, los cálculos de Fourier, las observaciones positivas de Hutton, Humboldt, Arago, M. de Buch, d'Aubuisson, Fox, etc., una feliz compilación de todos esos elementos por Cordier, y algunos experimentos realizados en minas, han acabado por dar a esta hipótesis cuerpo y consistencia. Poniéndola en relación con el modo como probablemente se han originado todos los planetas, apoyándola sobre las imprescriptibles leyes de la física y del movimiento de los astros, Laplace le dio un grado tan alto de probabilidad que se aproxima a la total certidumbre. (...) La hipótesis del calor central es ya el punto de reunión de todos los hechos observados, la única hipótesis en que tales hechos pueden caber sin oponerse entre sí; es -bien se puede decir- un verdadero principio. Principio sublime, sin el cual la geología no sería más que un amasijo de hechos incoherentes e inexplicables. La casi totalidad de los geólogos lo apoyan; nadie, creo yo, está dispuesto a discutirlo.

(Frapolli, M.L., "Réflexions sur la nature et sur l'application du caractère géologique", *Bull. de la Soc. Géol. de Fr.*, t. IV, 1846-1847, pp. 610-611).

El inaccesible interior terrestre fue uno de los grandes caballos de batalla de la geología durante el siglo XIX. Necesariamente ligadas a inobservables hipótesis relativas a la génesis del globo, como la celeberrima emitida por Laplace al comienzo del siglo, las teorizaciones sobre el interior de la Tierra no eran nada del gusto de Lyell. Le sublevaba especialmente la idea de que nuestro planeta pueda tener una parte interna en estado de fusión, como herencia de una Tierra primitiva obviamente muy distinta de la que conocemos:

...se asumió que, en los tiempos de su creación, la Tierra se hallaba en un estado fluido y al rojo vivo, y que desde entonces siempre ha estado enfriándose, sufriendo una lógica contracción en sus dimensiones, y adquiriendo una corteza sólida. Se trata de una hipótesis



arbitraria, pero bien calculada para no perder popularidad, porque al llevar el pensamiento al comienzo de todas las cosas, ya no se requiere el apoyo de las observaciones ni de hipótesis ulteriores. Aquéllos a quienes esta solución satisface quedan exentos automáticamente de la necesidad de investigar según las leyes del presente, como la que regula la difusión del calor en la superficie [*terrestre*].<sup>37</sup>

Entre los geólogos europeos continentales, la imagen de una Tierra que cuenta con un interior fundido a partir de una profundidad relativamente pequeña ganó rápidamente terreno al derrumbarse el modelo neptunista. Lo decisivo fueron las ya mencionadas mediciones del incremento de la temperatura con la profundidad, recopiladas sistemáticamente por Cordier (citado, como acabamos de ver, por Frapolli) a quien se debe el primer modelo de una Tierra con su interior formado íntegramente por material fundido. Este modelo (fig. 9) resulta de observar que, de acuerdo a una gráfica de incremento constante de la temperatura (condición asumida por Cordier), todas las rocas existentes en la superficie terrestre deben hallarse en estado de fusión a unos 50 km de profundidad. La hipótesis de Cordier no tiene en cuenta el efecto de la presión.<sup>38</sup>

Como han señalado diversos autores, la hipótesis fusionalista posee un gran poder explicativo. Da cuenta directamente de los volcanes y de las intrusiones magmáticas, y

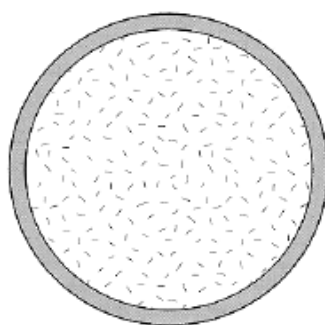


Figura 9. Modelo de Cordier del interior de la Tierra

---

<sup>37</sup> Lyell, C., *Principles of Geology*, I, 1ª edic., pp. 104-105.

<sup>38</sup> Ver Deparis & Legros, *op. cit.*, pp. 275-279.

además puede servir para entender otros muchos fenómenos, como las orogenias, el metamorfismo de las rocas y los terremotos. Curiosamente, implicó en su momento la adopción por los geólogos continentales de la concepción de Hutton de un calor interno actualmente operativo, justo cuando el continuador de su escuela, al menos en lo que se refiere al modelo cíclico-estacionario, Lyell, la rechazaba en Gran Bretaña por sus consecuencias contrarias al uniformitarismo. Pienso, por lo demás, que la vieja lámina de Kircher (figura 4), que presenta un sugerente modelo de *fusión parcial* anterior a cualquier otro, no había sido olvidada del todo, por más que nadie quisiera evocarla.

Los detractores de la fusión interna no faltaron ni siquiera en Francia, donde hay que señalar la defensa que Ampère (1833) y Poisson (1837) hicieron de una Tierra interiormente fría.<sup>39</sup> En general, fueron determinados físicos interesados por el comportamiento de la Tierra (los primeros geofísicos) los que más se opusieron al modelo fusionalista. El primero de ellos en tomar claramente postura en Inglaterra fue Hopkins quien, hacia mediados de siglo, se centró en la enorme presión a que están sometidos los materiales en profundidad, un factor que debería elevar grandemente el punto de fusión y que Cordier, como hemos visto, ignoraba por completo. Sumó a este argumento principal, otro de tipo astronómico basado en el ritmo demasiado lento de la precesión, y concluyó que la corteza sólida no puede tener menos de 1300 km de espesor, y que la Tierra puede, en consecuencia, o

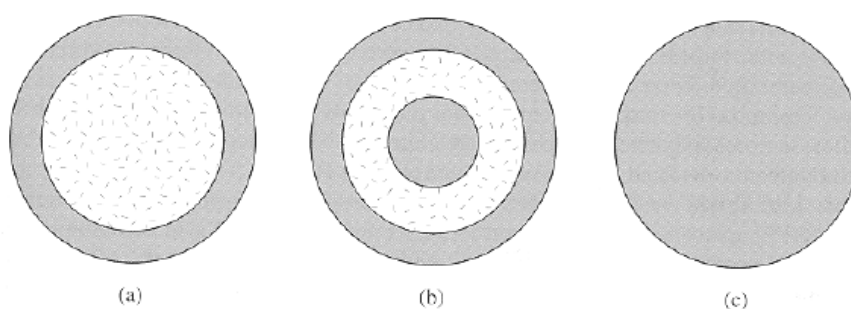


Figura 10. Los tres modelos de Hopkins

<sup>39</sup> *ibid.*, pp. 293-296.

bien ser completamente sólida, o bien contar, por debajo de la gruesa corteza, con una zona fundida recubriendo (probablemente) un núcleo sólido (fig. 10).<sup>40</sup> La controversia sobre el estado interno de la Tierra continuó durante décadas, sin que las diferentes hipótesis pudiesen ser verificadas experimentalmente. Se trataba, pues, de meras hipótesis conjeturales racionalmente fundadas, y la situación persistió hasta que el estudio de las ondas sísmicas, iniciado en 1889 por von Rebeur-Paschwitz (el primer científico que registró un seísmo a distancia), permitió introducir criterios de contrastación.<sup>41</sup>

### **3. 4. Geología versus geofísica: el enfrentamiento de dos ciencias de la Tierra a finales del siglo XIX**

No parece tan cierto –ya se ha dicho– que, a mediados del siglo XIX, los geólogos cerraran filas en torno a Lyell, como se complacen en afirmar los historiadores anglosajones de la geología (incluidos aquéllos a quienes el personaje no les resulta simpático, como ocurre con S.J. Gould), puesto que subsistió una escuela europea heredera del contraccionismo de Élie de Beaumont, que culminó en la figura fundamental de Suess. Sin embargo, a finales de siglo, la dureza de la controversia actualismo-direccionalismo se atenuó bastante, y ello por las razones que pronto veremos.

Los pioneros de la geofísica fueron adoptando crecientemente posiciones que cabe calificar de “ultradireccionalistas”, influenciados por las investigaciones y teorías de

---

<sup>40</sup> *ibid.*, pp. 304-309.

<sup>41</sup> *ibid.*, p. 401.

William Thomson (1824-1907), un discípulo de Hopkins que ha pasado a la Historia con título nobiliario, como lord Kelvin. Este notable científico llevó hasta sus últimas consecuencias la idea de que los cuerpos del sistema solar están más o menos calientes en la medida en que todavía conservan parte del calor que se generó cuando se formaron por la “implosión gravitacional” de la nebulosa primordial de Kant-Laplace, y la aplicó no sólo a la Tierra (*calor interno* y *flujo geotérmico* supuestamente decrecientes) sino también al Sol, fuente externa de energía de todo punto esencial para el mantenimiento de la vida terrestre. Calculando la temperatura que debía tener nuestra estrella en el momento de su formación (supuesto un proceso regido únicamente por la condensación gravitacional de la nube laplaciana), y comparándola con la que tiene actualmente (en superficie, se entiende), llegó a la conclusión de que la edad del Sol se hallaba comprendida entre 20 y 400 millones de años, con 98 m. de a. como cifra más probable. Sin embargo, ulteriores cálculos, acordes con otros de Helmholtz, le condujeron a corregir dicha edad a la baja, fijando su tope máximo en lo que antes había considerado como el mínimo admisible: 20-25 millones de años.<sup>42</sup> Ni que decir tiene que estas cifras no cuadran ni con lo que hoy día se piensa (que la Tierra tiene alrededor de 4500 millones de años) ni con lo que los geólogos estimaban en la época (una edad aproximada de la Tierra del orden, ya respetable, de 1000 millones de años). La causa del error de Kelvin es bien conocida: las energías geotérmica y solar no tienen sólo carácter residual, sino que los *procesos nucleares* -que Kelvin lógicamente desconocía- juegan un papel fundamental en su generación.

Llegados a este punto, conviene llamar la atención sobre el hecho de que los dos sectores científicos enfrentados hace algo más de un siglo, daban ambos por sentado que nuestro planeta experimenta un proceso de degradación térmica –muy lento o incluso imperceptible para los geólogos uniformitarios, y mucho más rápido para los direccionalistas y los geofísicos– desde el momento que, como cualquier otro objeto inorgánico, se halla sometido a la segunda ley termodinámica de la disminución del calor utilizable y el consiguiente aumento de la entropía, que Carnot y Clausius

---

<sup>42</sup> Ver: Hallam, A., *Grandes controversias geológicas*, pp. 87 y 95; asimismo: Deparis & Legros, *op. cit.*, p. 328.

acababan de establecer. Se estaba tan lejos entonces del geo-organicismo de Hutton y Playfair que los uniformitaristas mismos -defensores de un estado cuasi-estacionario en el que la Tierra se mantendría desde una época incalculablemente remota- se abstendían cuidadosamente de evocar nada parecido para apoyar su opción, y preferían insistir en ella de manera apriorística, puestos a la defensiva frente a unos físicos que aparecían a los ojos de todos como los indiscutibles depositarios de la verdad científica última. En semejante tesitura, el actualismo estricto –una doctrina cuyo prestigio entre amplios sectores de los geólogos se ha mantenido hasta recientemente– empezó a mostrar contradicciones importantes. Es así que encontró, de manera harto paradójica, su mayor apoyo externo en la teoría más opuesta al uniformitarismo que imaginarse pueda: el evolucionismo biológico de Darwin. Y ello porque la evolución del conjunto de las especies terrestres por selección natural exigía unos períodos de tiempo inmensamente largos, que obligaban a mantener la escala cronoestratigráfica de los geólogos. Pero, por otro lado, no dejaba de evidenciar igualmente que, si bien la vida como fenómeno global había estado presente casi desde el comienzo de la historia del planeta, había conocido por lo demás tales transformaciones que resultaba inverosímil la afirmación de que el medio ambiente (en el que dicha vida evolucionaba) había permanecido, al mismo tiempo, sin grandes cambios. Claro que una alternativa podía consistir en hacer hincapié en la “independencia” de la vida (de la que por algo se ocupaban exclusivamente los biólogos) con respecto al entorno geológico. Es posible que no todos los paleontólogos estuviesen de acuerdo, pero esa fue, a fin de cuentas, la tranquilizadora postura que evitó que el debate de fondo se agudizara.

### 3. 5. La síntesis de Eduard Suess

Al geólogo austriaco Eduard Suess (1831-1914) corresponde el primer intento realmente serio de fijar un modelo global de la dinámica terrestre, de definir una imagen científica de la Tierra y sus procesos que pudiera resultar aceptable para la generalidad de los investigadores. Se habla habitualmente de la “síntesis” geológica que este científico llevó a cabo<sup>43</sup>, y seguramente esta expresión refleja bastante bien el carácter de su obra: partiendo de un primer trabajo sobre *El origen de los Alpes* (1875), en el que insiste en la plena validez del método actualista, Suess continúa de hecho la tradición direccionalista de Élie de Beaumont, y propone en su magna obra *La faz de la Tierra* –a la que dedicó veintiséis años de su vida– una explicación general de los grandes accidentes superficiales (distribución océanos-continentes, cadenas de montañas, etc.) basada en la contracción paulatina del globo causada por su aparentemente ineluctable pérdida de calor a lo largo del tiempo. Él no rechaza los acontecimientos repentinos, las “catástrofes”, pero apoya decididamente el predominio de los procesos graduales, y cree que, en general, el geólogo debe guiarse por el estudio de los fenómenos actuales, en tanto que observables. Suess  *sintetiza*, pues, con notable eclecticismo, el direccionalismo y el actualismo, las dos corrientes que habían estado enfrentadas durante décadas. La tarea le venía facilitada por la reciente desaparición de los “sumos pontífices” de ambas escuelas, Lyell y Élie de Beaumont, aunque conviene añadir que mientras que en Francia (y, en general, en el continente) las ideas sintetizadoras suessianas fueron muy bien acogidas, no ocurrió lo mismo en Inglaterra, donde durante largos años subsistió una escuela lyelliana estricta, muy poco dispuesta a hacer concesiones al “especulativo” direccionalismo, y bastante atrincherada en la geología de escala local-regional.

De todos modos, Suess hizo algo más que una síntesis. Tomó, de hecho, partido claramente por una determinada imagen de la Tierra en detrimento de otra: frente al

---

<sup>43</sup> Ver, p. ej., Gohau, G., *op. cit.*, pp. 196-199.

georganicismo de tradición aristotélico-huttoniana, que apostaba por el mantenimiento a muy largo plazo de ciertos parámetros básicos del planeta —dejando aparte oscilaciones más o menos periódicas entre ciertos límites—, el geólogo de Viena se definió a favor de una concepción “degradacionista” (denominación que encuentro, por mi parte, preferible a *direccionalista*, la expresión consagrada) según la cual los parámetros terrestres fundamentales varían de una forma que no es cíclica sino continua y apuntando además en una determinada dirección, y ello a causa del comportamiento general de la Tierra como un sistema en pérdida de calor, y en vías, por consiguiente, de degradación termodinámica. El primero y principal de tales parámetros no es otro que el propio radio terrestre, que está obligado a disminuir a lo largo de los tiempos geológicos si es que la Tierra realmente se enfría. Ahora bien, la contracción del interior del globo tiene como consecuencia el necesario derrumbe, por efecto de la gravedad, de zonas amplias de la corteza —la cual, habiéndose enfriado ya en los primeros tiempos de la evolución del planeta, tiende a mantener su superficie total mientras las *geosferas* internas reducen su volumen cada vez más. El resultado necesario es la aparición de grandes arrugas contraccionales sobre la “faz de la Tierra”. Las orogenias, complicados procesos de corrugación continental, vendrían causadas sobre todo por las componentes horizontales de las fuerzas de contracción.

Suess creía que los fondos marinos eran litológicamente idénticos a las áreas continentales. Las plausibles observaciones de algunos geólogos, a los que enseguida me referiré, en el sentido de que el principio de la *isostasia* (la compensación arquimediada de las distintas densidades de las áreas litológicamente diferenciadas que forman la superficie terrestre, por su mayor o menor hundimiento o resalte) implica que los materiales que constituyen el fondo de los océanos tienen que ser más densos que las rocas continentales, fueron desestimadas por él por incontrastables. Esto le permitió defender la *intercambiabilidad entre áreas continentales y áreas oceánicas*, una de las grandes claves de su concepción de la historia de la Tierra. Como los macroabombamientos que, para Suess, forman las cuencas marinas y los continentes, podían eventualmente invertir su signo (de resalte pasar a hundimiento, o viceversa), las situaciones de transición también eran concebibles; e igualmente la existencia en el

pasado de macro-ondulaciones superficiales muy distintas de las actuales por su situación y orientación geográfica. Esto le llevaba a imaginar un mapamundi antiguo (aunque a la escala de los tiempos geológicos no tanto) totalmente diferente del actual y sin apenas relación con él. Suess defendía que el Atlántico sólo se había formado –por hundimiento– en el Mioceno, hace alrededor de 15 millones de años. Con anterioridad, un auténtico “continente de Atlantis” (uno de los *puentes intercontinenta-*

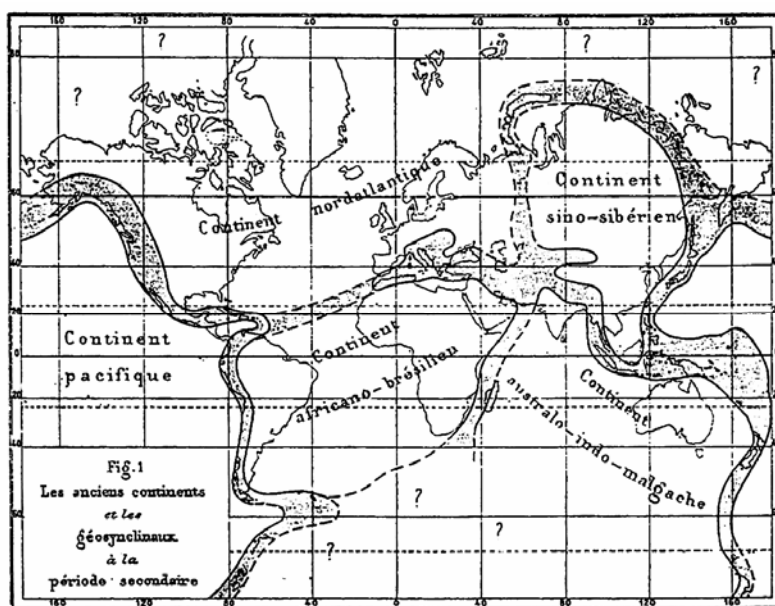


Figura 11. Mares y continentes antiguos en el modelo de Suess (según E. Haug)

les que su modelo propugnaba) unía el Viejo con el Nuevo Continente. La continuidad en Norteamérica –finalmente confirmada, pero de la que se da hoy una explicación muy distinta– de las cadenas europeas, por ejemplo del macizo Hercínico que se continúa en los Apalaches, era contemplada por él como una prueba de peso de su teoría.

El predicamento que alcanzó la “síntesis de Suess”, tanto durante su vida como tras su desaparición, fue muy grande. Se puede, en buena lógica, hablar de un *paradigma suessiano* de la geología<sup>44</sup>, que conoció dos etapas de amplia aceptación separadas por

<sup>44</sup> Aunque Kuhn no lo admitiría, puesto que no cumplía la condición de suscitar un generalizado consenso.



el efímero interés que despertó la alternativa revolucionaria de Wegener. Estos dos períodos van, el primero, desde la publicación de los dos primeros tomos de *La faz de la Tierra* (1878 y 1883) hasta la exposición de la hipótesis de la *deriva continental*, en enero de 1912; y el segundo, del descrédito en que cayó esta última concepción a partir de 1926, a la “conversión” de la comunidad de los científicos de la Tierra a la tectónica de placas, a finales de los años 60.

Los presupuestos en los que se funda el “paradigma sintético” de Suess se pueden, pues, resumir en cuatro puntos: 1. las únicas energías que cuentan en la geodinámica interna son la residual y la que genera la contracción del globo, paradójicamente debida a su enfriamiento; 2. ambas energías son decrecientes a larguísimo plazo, pero para la escala geológica que establecen los fósiles (para los tiempos biógenos) sus efectos se pueden considerar estables y regulares; 3. nunca han estado presentes nada más que estas dos causas; y 4. las diferentes litologías se encuentran repartidas de manera estadísticamente homogénea en las distintas partes de la superficie del globo. Estos presupuestos permitían, en efecto, reconducir la controversia direccionalismo-actualismo de un modo que se aproximaba mucho, en la práctica, a una síntesis de las dos posturas, a condición que las posiciones más intransigentes de la escuela lyelliana fuesen abandonadas. De hecho, tal cosa acabó por ocurrir *también* en el Reino Unido, y de inspiración suessiana eran, de hecho, la mayoría de las concepciones globales que, en el mundo entero –incluido el de habla inglesa–, se opusieron a la deriva continental entre 1912 y la década de los sesenta.

De todas maneras, en los Estados Unidos la receptividad inicial a las propuestas de Suess fue menor que en ningún otro lugar, debido a la existencia de una escuela americana que partía de presupuestos muy distintos, centrada en la figura de James Dana (1813-1895). Éste geólogo defendía la permanencia, a lo largo de las eras geológicas, de los mismos océanos y continentes, en tanto que *estructuras fundamentales de la superficie terrestre* (“permanentismo”, o fijismo radical). Tan sólo algunos incrementos en el área de los continentes, producidos en sus márgenes y relacionados con las orogenias, eran concebibles para Dana. Pero, sobre todo, cualquier

basculamiento de la corteza que provocara un intercambio de zonas continentales y oceánicas quedaba totalmente excluido por su concepción. Dana y sus seguidores fueron, en efecto, los primeros geólogos reconocidamente científicos (pues hay que contar con los antecedentes remotos de Buridán y Whiston) que defendieron la naturaleza esencialmente distinta de las áreas continentales y los fondos oceánicos, y ello por pura deducción, sin ningún apoyo empírico –pues todavía no se habían llevado a cabo estudios oceanográficos de profundidad–, al considerar que el resalte de los continentes tenía que estar motivado por “causas estructurales originarias” o/y litológicas. Esta idea, que hoy reconocemos como fundamental, a la que los primeros estudios teóricos sobre la isostasia desarrollados por algunos geofísicos hacia el final del siglo dieron fuerte apoyo y a la que Wegener había de conceder la mayor importancia, fue concebida por Dana a mediados del siglo XIX.<sup>45</sup> Sin embargo, el permanentismo que defendía este notable geólogo era incapaz de explicar las conexiones (orogénicas, paleontológicas, etc.) entre ambas orillas del Atlántico. Y como el contraccionismo suessiano, que por un lado admitía “puentes continentales” susceptibles de dar cuenta de tales correlaciones, ignoraba por otro la heterogeneidad litológica océanos-continentes, resultaba que cada una de las dos escuelas globalistas de hace cien años se centraba en explicar *una sola cosa* a costa de desentenderse por completo de otra de importancia equivalente. Como en el cuento hindú, uno de los ciegos palpaba la panza y el otro las patas del elefante, pero ninguno de ellos era capaz de imaginar la forma completa del animal.

La contribución de Dana a la historia de la geología tiene un segundo referente. Para explicar la enorme *potencia* (espesor) de las capas sedimentarias que encontramos plegadas formando cadenas de montañas del tipo de los Alpes, el científico estadounidense concibió un mecanismo de acumulación más sofisticado que la simple deposición en un fondo marino plano y pasivo: inmensos surcos, largos y profundos, que llamó *geosinclinales*<sup>46</sup>, situados en la vecindad de las plataformas continentales, recibirían de manera continuada gran cantidad de aportes sedimentarios al mismo

---

<sup>45</sup> Dana, J.D., “The continents always continents”, *Nature*, 23, 1881, p. 410.

<sup>46</sup> Dana, J.D., *Manual of Geology*, 1875.

tiempo que ganaban en profundidad por un proceso de progresivo hundimiento conocido desde la primera mitad del siglo XIX (Darwin, 1837, 1842; Élie de Beaumont, 1848) y denominado *subsistencia*. De esta forma, un geosinclinal subsidiente podía llegar a acumular un enorme espesor vertical de sedimentos, antes de ser presionado lateralmente por fuerzas horizontales (de origen contraccional u otro) y plegarse dando origen a una gran cadena de montañas. Este mecanismo de la orogénesis, propuesto por primera vez por Dana en 1873, fue adoptado pronto – perfeccionándolo en sus detalles– por Suess y sus discípulos. Entre estos últimos, el francés Émile Haug desarrolló este interesante modelo dinámico –que pasó a ser conocido en adelante como *modelo geosinclinal-orógeno*– en su memoria “Les géosynclinaux et les aires continentales” (1900). Hay que destacar la longevidad de este modelo particular, que ha estado presente, prácticamente sin modificaciones, en los programas de enseñanza de la geología hasta que la tectónica de placas se asentó lo suficiente y pasó a constituir el eje de los contenidos programáticos en lo que a dinámica global se refiere. Incluso es posible interpretar que este modelo geosinclinal-orógeno ha “emigrado” –aunque, claro está, incorporando algunas modificaciones– de la tradición paradigmática fijista a la movilista en versión geotectónica, dado que los geosinclinales pueden asimilarse a las fosas marinas, que tienden a formarse y a ahondarse en las zonas de subducción. Estos trasvases de modelos –o de teorías, y no sólo locales– de una tradición de investigación a otra han sido señalados por Laudan<sup>47</sup>, quien pone como ejemplo el *primer principio de la termodinámica* (el de conservación de la energía) que, enunciado por Sadi Carnot, en 1824, en el marco de la tradición nucleada por el paradigma del fluido calórico, fue luego adoptado sin mayores problemas por el paradigma cinético que se impuso en las décadas siguientes (paradigma que, de todos modos, ya estaba presente a nivel minoritario desde las observaciones sobre el rozamiento que había realizado Rumford a finales del siglo anterior).

---

<sup>47</sup> Laudan, L., *El progreso y sus problemas*, pp. 131-132.

### **3. 6. Movilistas contra fijistas**

#### **3. 6. 1. Preludio y aplazamiento de una *revolución científica***

En lo tocante a la visión científica de la Tierra, el paso del siglo XIX al XX estuvo marcado por dos acontecimientos clave: el descubrimiento de la radiactividad, que asestó un rudo golpe al direccionalismo, y el surgimiento de las primeras conjeturas sobre la movilidad continental. Entre ambas “revoluciones” no existió, en un primer momento, la menor relación; pero las dos contribuyeron, cada una por su lado, a dinamizar la imagen de la Tierra: la “nueva” energía del átomo constituía una fuente de calor prácticamente inagotable que, de golpe, hacía retroceder indefinidamente tanto la edad del Sol como la de nuestro propio planeta, y que se revelaba suficiente para alimentar todos los procesos geológicos conocidos y quizá algunos más desconocidos; y luego estaban las intuiciones que diversos geólogos –y también algunos *buenos aficionados*– exponían aquí y allá (Fisher en Inglaterra, Taylor en América, Wettstein y von Colberg en Alemania) acerca de una Tierra no completamente rígida, cuyo interior fluido permitiría el desplazamiento lateral de las masas continentales.

Sin embargo, los únicos que, hace ahora alrededor de cien años, proponían una dinámica terrestre de conjunto eran los direccionalistas. Acabamos de ver como Suess planteaba un modelo basado en corrugaciones contraccionales a distintas escalas, causadas por el enfriamiento de la Tierra: primeramente, a gran escala, la convexidad o concavidad de los macro-abombamientos habría delimitado, ya desde los primeros tiempos, zonas continentales y zonas oceánicas, si bien inversiones regionales eran contempladas como posibles, y ello permitía imaginar hundimientos y emersiones de continentes; luego, a escala más reducida pero todavía amplia, estaban los plegamientos orogénicos. Si entendemos por paradigma toda *idea explicativa sintética* que proporciona una guía coherente para la exploración de un cierto ámbito de la realidad, independientemente de que cree o no consenso corporativo, entonces puede defenderse perfectamente que el direccionalismo suessiano –que, además, había

acabado por integrar el uniformitarismo no dogmático– fue históricamente un paradigma de las ciencias geológicas. Pero incluso admitiendo esto, el hecho es que tal concepción –enraizada tanto en el inorganicismo atomista de la física clásica como en la tradición de una Tierra-escenario que, del jardín del Edén al Juicio Final, sufre una degradación continua– estaba condenada a tener que hacer frente enseguida a otra *gestalt* muy distinta, deudora de otras tradiciones culturales: la de una Tierra-sistema *que cambia sin degradarse sensiblemente*, y que cuenta, además, con partes externas móviles en un contexto unitario global.

La historia de la geología, en los dos primeros tercios del siglo XX, fue todo menos “lineal”. Pese al predominio de la visión suessiana, no había ningún consenso entre los geólogos, hacia 1900, ni sobre la estructura de la corteza y del interior del globo, ni sobre el modo de generarse las cadenas de montañas, los volcanes y los fenómenos sísmicos. Por otra parte, la especialización creciente, que parcelaba implacablemente el “edificio común” de la ciencia, estaba teniendo consecuencias negativas en el caso particular de la geología: los conocimientos de física eran más bien escasos entre los geólogos, que cada vez tendían más a asumir el papel de microespecialistas y renunciaban a tener una visión de conjunto. De ahí, quizá, que la presentación por Alfred Wegener de su hipótesis de la *deriva continental*, en enero de 1912 <sup>48</sup>, fuese recibida al principio sin especial entusiasmo ni hostilidad. A fin de cuentas, se trataba simplemente de un modelo elegante que venía avalado por un cierto número de “pruebas” empíricas. Inicialmente, la mayor debilidad del modelo en cuestión residía en la pobreza de sus propuestas explicativas, y es bien curioso que fuese en una época en la que casi nadie creía ya en la teoría de Wegener, en 1929, cuando uno de los últimos movelistas de los tiempos heroicos, Arthur Holmes, planteara de forma rigurosa la posibilidad de que los desplazamientos continentales estuviesen causados por lentas corrientes de convección moviéndose en el seno de una capa terrestre capaz de fluir, subyacente a la corteza rígida: esencialmente el mismo esquema explicativo que la

---

<sup>48</sup> En una conferencia pronunciada ante la Sociedad Geológica de Frankfurt, el día 6 de enero de 1912, y titulada “El desarrollo de las grandes unidades de la corteza terrestre en continentes y océanos, desde el punto de vista geofísico”.

tectónica de placas había de incorporar cuarenta años más tarde, al sobrevenir la primera *revolución científica* indudable de la geología global, tras uno de los más curiosos aplazamientos que registra la historia de la ciencia.

### 3. 6. 2. Descripción de la hipótesis wegeneriana. Argumentos favorables

La agitada y romántica vida de Alfred Wegener (1880-1930) ha dado pie a varias leyendas. Una de ellas querría que fuese durante su primera estancia en Groenlandia, entre 1906 y 1908, cuando le surgió el primer “chispazo” de su modelo de la Tierra, al ver como las banquisas de hielo se cuarteaban generando inmensos icebergs del tamaño de islas, que se separan después flotando cada uno por su lado. No es esa, sin embargo, la versión que él ofreció de su *eureka*: “Tuve la primera intuición de la movilidad continental ya en 1910, cuando, al contemplar un mapamundi, me impresionó la coincidencia de las costas de ambos lados del Atlántico; pero por el momento no hice caso de esta idea, que me pareció inverosímil. En el otoño de 1911 conocí, a través de un trabajo de síntesis que cayó en mis manos por casualidad, los resultados paleontológicos, para mí desconocidos hasta entonces, referentes a las primitivas conexiones continentales entre Brasil y África. Esto me llevó a un examen atento, aunque por el momento fugaz, de los resultados de las investigaciones geológicas y paleontológicas referidas a esta cuestión, investigaciones que produjeron enseguida confirmaciones tan importantes que hicieron arraigar en mí el convencimiento de que eran básicamente correctas.”<sup>49</sup>

Los estudios paleontológicos a que se refiere Wegener podrían muy bien ser los que Krenkel había publicado en la revista *Geologische Rundschau* en el referido año de 1911.<sup>50</sup> Contando con esos datos, y no pudiendo compartir la interpretación que de ellos hacía la escuela de Suess (la *forma* de los continentes se lo impedía), el

---

<sup>49</sup> Wegener, A., *Origen de los continentes y océanos*, Pirámide, Madrid, 1983, p. 13.

<sup>50</sup> En opinión de Brouwer (1980), citada por los traductores de Wegener al castellano, Francisco Anguita & J. C. Herguera: *Origen...*, 2ª nota, p. 13.

meteorólogo alemán decidió efectivamente profundizar en la idea, que le obsesionaba cada vez más, de un continente único (“Pangea”) que habría integrado, hace millones de años, a la totalidad de los continentes actuales, los cuales provendrían de la rotura de ese macro-continente primitivo, seguida de una separación de sus pedazos que se habría continuado hasta el presente.

Wegener reunió en poco tiempo una amplia serie de argumentos y de pruebas empíricas que le proporcionaron una enorme confianza *subjetiva* en su hipótesis. Podríamos decir, sin temor a caer en exageración, que este gran anticipador se enamoró de su teoría... Fue sin duda la gran coherencia y elegancia de la hipótesis, su depurada *estética*, lo que le impulsó a apostar de la manera apasionada en que lo hizo –y que tanta irritación provocaba en sus oponentes– por el modelo de la Tierra basado en la deriva continental. Los principales argumentos en que basó Wegener la defensa a ultranza de su concepción movilista pueden clasificarse en dos grandes apartados:

#### A) Argumentos geográficos y geofísicos.

Está, de entrada, la referida impresión visual de una concordancia –como si de dos inmensas piezas de un *puzzle* se tratara– entre las líneas de costa sudamericanas y africanas. A esto (que no puede constituir, de todos modos, un argumento decisivo, ya que siempre cabría considerarlo como una casualidad caprichosa, sobre todo teniendo en cuenta que no se repite tan claramente en ninguna otra parte del mundo), se suman dos importantes características generales del planeta, una geográfica y otra geofísica, de las que Wegener se percató enseguida: la primera es la *bimodalidad de las cotas topográficas terrestres*, es decir, que la Tierra tiene, *grosso modo*, dos “pisos” separados por un “escalón”, que son los fondos oceánicos y los continentes (con el talud continental como escalón); la segunda es la necesaria *densidad y litología distintas* de cada uno de los dos “pisos”. Vale decir que Wegener le daba la razón a Dana y se la quitaba a Suess: la superficie de la Tierra no presenta una continuidad física estadística, *sino que es de naturaleza dual*; y el hecho de que la cota media de los fondos marinos se halle separada por un escalón nítido de la cota continental media, sólo puede

explicarse admitiendo que *el material que forma los fondos oceánicos pesa más que el que constituye los continentes*. Los hundimientos, más o menos caprichosos, de unos continentes que, en conjunto, son ligeros, y la elevación paralela de unos fondos de material más pesado, postulada por Suess, se revela, pues, imposible. Y, alternativamente, resulta que los continentes tienen que “flotar” sobre un material fondo-oceánico que seguramente (teniendo en cuenta su mayor densidad) se extiende por debajo de ellos.

Además, Wegener criticó el contraccionismo, y opuso a la hipótesis orogénica de Suess, que encontraba incoherente (pues no entendía cómo es que la contracción general del globo origina cadenas lineales de montañas, en lugar de arrugas irregulares repartidas aleatoriamente), otra distinta: la de la corrugación del material fondo-oceánico (deformable como el lacre, contando con el factor tiempo) al que los continentes rígidos empujarían al avanzar. Así, los Andes habrían surgido a causa de la presión ejercida por el continente sudamericano al “derivar” hacia el Pacífico.

#### B) Pruebas empíricas geológicas y paleontológicas.

Las primeras pruebas geológicas –basadas en la continuidad geográfica de las cadenas de montañas– y paleontológicas que manejó Wegener eran, como hemos visto, las mismas que la escuela contraccionista utilizaba para apoyar su teoría de los puentes intercontinentales. Vemos, pues, como los mismos datos sueltos avalaban dos teorías completamente distintas que estaban, por tanto, infradeterminadas; sólo el recurso a una multiplicidad de elementos pertenecientes a campos muy diversos –y contemplada, además, en conjunto–podía permitir zanjar. Teniendo muy clara su *gestalt* de la Tierra, Wegener se puso febrilmente a la tarea de recolectar datos susceptibles de sostenerla. Estaba, por ejemplo, la distribución de las faunas y floras fósiles del Carbonífero, que demostraba la unión, en aquel período, de todos los continentes actualmente meridionales: la “tierra de Gondwana”, propugnada por Suess, no debía, pues, ser ninguna fantasía. Estaban también los gasterópodos terrestres (caracoles), comunes a Europa occidental y a la costa este de Norteamérica, indicando una unión



intercontinental más reciente, incluso, que la anterior. Y estaban los datos estratigráficos (*paleoclimáticos*) que mostraban que regiones tan alejadas como Brasil, Sudáfrica, la India y Australia debieron estar, todas ellas, englobadas en un casquete polar, en época carbonífero-pérmica. Y aquí cuadra verdaderamente mal la explicación basada en puentes intercontinentales, pues ¿cómo podría una zona del mundo tan vasta como la que surge al conectar por tierras emergidas intermedias las regiones mencionadas, constituir un único casquete polar? Conexión, sí, pero no mediante “puentes”...

Hoy resulta evidente que la deriva continental wegeneriana superaba la contradicción entre los modelos globales de Dana y de Suess, cada uno de los cuales resolvía un problema a costa de ignorar el que resolvía el otro. Wegener mismo supo resumir en términos claros tanto el dilema como la solución –auténtica síntesis superadora– que él aportaba:

Pero, ¿cuál es la verdad? La Tierra no puede tener más de un rostro a la vez. ¿Hubo puentes continentales, o bien estuvieron siempre los continentes separados por mares profundos? Es imposible rechazar la reivindicación sobre las antiguas conexiones terrestres si no queremos renunciar por completo a comprender el desarrollo de la vida en la Tierra. Pero es igualmente imposible rehuir los argumentos con los que los partidarios de la teoría de la permanencia rechazan los intercontinentes hundidos. Evidentemente, queda tan sólo una posibilidad: tiene que existir un error oculto en las suposiciones tomadas como evidentes.

Este es el punto de partida de la teoría movilista o de la deriva. La suposición, tomada como evidente tanto en la teoría de los puentes continentales como en la de la permanencia, de que la situación relativa de los bloques continentales no ha cambiado (...) debe ser falsa: los continentes deben haberse movido.<sup>51</sup>

### 3. 6. 3. Del rechazo a la marginalización

Wegener explicó en detalle su hipótesis en un único libro, *Origen de los continentes y océanos*, que conoció cuatro ediciones en vida del autor (1915, 1920, 1924 y 1929) y dos más en la década que siguió a su fallecimiento. En la década del 20, la obra se

---

<sup>51</sup> Wegener, A., *Origen...*, p. 26.

trajo asimismo a cinco idiomas, uno de ellos el castellano. Después, una pesada losa de menosprecio institucional –más que de olvido– impidió que la obra fuese reeditada durante treinta años, hasta que en 1966 apareció su segunda edición en inglés (y en 1983, la segunda edición en castellano). Los problemas mayores con que se topó Wegener de cara a la aceptación de su idea no provinieron de la escasez o inverosimilitud de los indicios favorables a la misma, sino de dos factores que ya han sido señalados, a saber, la endeblez de las hipótesis explicativas que él proponía para el fenómeno cuya realidad postulaba, y las insuficiencias de formación en física de que adolecían en la época tanto los geólogos como los biólogos (salvo honrosas excepciones), que les impedía captar la fuerza de numerosos argumentos esenciales, como los isostáticos, basados en la densidad necesariamente distinta de los materiales constitutivos de las dos grandes regiones –los continentes y los fondos oceánicos– en que se divide horizontalmente la corteza. Por su parte, Wegener no dejaba de expresar la irritación que esto le producía:

...Por lo que alcanzo a ver actualmente, una gran parte de los biólogos se encuentra defendiendo la idea de que es lo mismo suponer puentes continentales hundidos o el desplazamiento de los continentes, lo cual es erróneo. Los biólogos pueden comprender, sin tener que aceptar a ciegas opiniones extrañas, que la corteza terrestre ha de estar formada de un material más ligero que el del interior, y que consecuentemente, si los fondos oceánicos fuesen continentes hundidos que tuviesen también el mismo espesor del material continental más ligero, las mediciones de gravedad en los océanos deberían demostrar el defecto en la fuerza de atracción correspondiente a una capa de rocas de 4 a 5 km de espesor.<sup>52</sup>

Consecuentemente, a lo largo de toda su vida este polifacético investigador (cuya formación inicial, recordémoslo, no era de geólogo, sino de meteorólogo) defendió a capa y espada la necesaria interdisciplinariedad de los estudios geológicos globales, considerando el carácter demasiado restringido de la mayoría de los argumentos que

---

<sup>52</sup> *ibid*, p. 93.

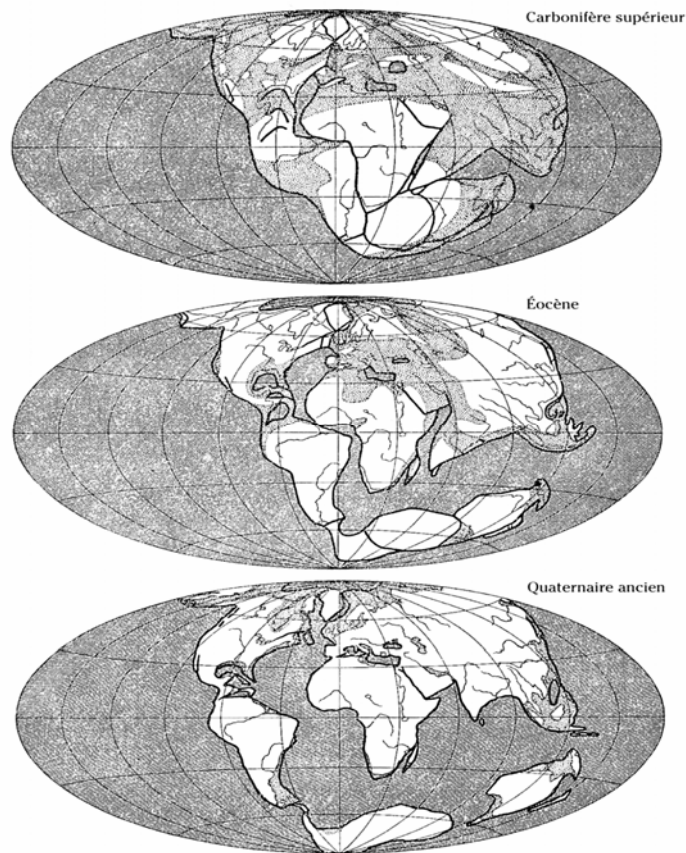


Figura 12. El estallido de la Pangea, según Wegener

se esgrimían en contra de su teoría como un grave obstáculo para la discusión en profundidad que la misma demandaba.

No vayamos a creer, de todos modos, que *todas* las pruebas que proponía Wegener estaban igualmente bien fundadas. La historia de la ciencia le ha hecho justicia en lo que se refiere a la mayoría de sus argumentaciones basadas en el ajuste de las líneas de costa actuales, o en las correlaciones paleontológicas, estratigráficas y paleogeográficas intercontinentales. Pero no ha podido darle la razón en un punto al que él concedía la mayor importancia: la supuesta conexión entre las huellas glaciares de Norteamérica y Europa, que indicaría que la apertura del Atlántico Norte se habría producido a comienzos del Cuaternario, es decir, hace tan sólo alrededor de

un millón de años.<sup>53</sup> Y es que ese gran intuitivo, aunque igualmente poseedor de extraordinarias dotes racionales, que fue Wegener, sufrió un error de apreciación temporal que recuerda un poco el de apreciación espacial que afectó a Cristóbal Colón: así como el genovés creyó que la Tierra era considerablemente más pequeña de lo que es, Wegener supuso que la separación entre Europa y América del Norte era mucho más reciente de lo que las investigaciones posteriores han mostrado; tan reciente que hasta los glaciares (y sus morrenas terminales) del Plioceno Superior y comienzos del Pleistoceno habrían sido divididos por la gran escisión continental. Su obstinación al respecto se volvió en contra suya, al presentar un flanco argumental fácilmente desmontable y que él se empeñaba en mantener contra viento y marea. Sin embargo, esto no justifica el ensañamiento de la mayoría de los críticos, que hoy –con la perspectiva de los tres cuartos de siglo transcurridos– no deja de sorprender. Por ejemplo, a Dominique Lecourt, quien escribe: “No tanto habría que hablar de escepticismo para describir la acogida que se reservó en su momento a esta hipótesis [*la deriva continental*], como de brutal rechazo y de denigración sistemática.”<sup>54</sup> Algunos párrafos podrán servir como botón de muestra.<sup>55</sup>

[*El método de Wegener*] en mi opinión no es científico, sino que sigue la trayectoria normal de una idea inicial: una búsqueda selectiva a través de la literatura para corroborar sus pruebas, ignorando los hechos opuestos a esta idea, y finalizando en un estado de autointoxicación en el cual la idea subjetiva acaba siendo considerada como un hecho objetivo.

(E.W. Berry)

Cuando aparecen conclusiones negativas de las pruebas que se refieren a una hipótesis, ésta debe ser descartada, a mi modo de ver, puesto que continuar discutiendo sobre ella es solamente una cuestión literaria y que confunde la mente de los compañeros de estudio... Los amigos científicos que no son geólogos no tienen por qué saber que la geología en que

---

<sup>53</sup> *ibid*, pp. 75-76.

<sup>54</sup> Lecourt, D., “Wegener” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 997-998.

<sup>55</sup> Citas recogidas por Hallam A., *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*, excepto P. Termier, cit. por Deparis & Legros, *op. cit.*

se basa esta teoría es tan antigua como la física anterior a Curie. (...)

Así pues, la teoría de la deriva de los continentes es un cuento de hadas, *ein Märchen*. Una fantasía fascinante que ha capturado la imaginación de muchos.

(B. Willis)

Se trata de un hermoso sueño, del sueño de un gran poeta. Pero cuando tratamos de cogerlo, vemos que entre las dedos no tenemos más que vapor y humo. Esta teoría nos atrae, capta nuestro interés, nos divierte..., pero carece de solidez.

(P. Termier)

Fuera la que fuera la actitud original de Wegener, en su libro no busca la verdad, sino que aboga por una causa, ciego a todos los hechos y argumentos que la desmienten. Sus pruebas son en gran parte superficiales. Sin embargo, es un hábil abogado y presenta su caso en forma interesante.

(P. Lake)

La hipótesis de Wegener es, en general de las de libre acceso, en el sentido de que se toma muchas libertades con nuestro globo y de que está menos limitada por restricciones o condicionada por hechos mal adaptados y “feos” que la mayoría de las teorías rivales. Su atractivo parece basarse en que juega un juego en el que hay pocas reglas restrictivas y ningún código de conducta bien definido.

(R.T. Chamberlin)

Para creer en la hipótesis de Wegener tendríamos que olvidar todo lo que hemos aprendido en los últimos setenta años y empezar de nuevo.

(R.T. Chamberlin)

Alfred Wegener aparece, casi un siglo después, como el prototipo del investigador marginalizado injustamente, cuyas ideas acaban imponiéndose, en lo esencial, mucho tiempo después de su muerte. Creo, por eso, que vale la pena tratar de profundizar más en el contexto y en las causas de su marginalización. En una primera aproximación puramente sociológica, parece verosímil que a Wegener le perjudicase el ser, profesionalmente hablando, un intruso, un no-geólogo (¡y ni siquiera físico!), que tenía

la osadía de *pretender dar lecciones* a los especialistas. Y sin embargo, existen estudios serios que ponen de relieve el papel desbloqueante del investigador capaz que “llega de fuera”, en relación a los prejuicios, rutinas y obnubilaciones que impiden a los miembros de un determinado grupo científico ver las cosas desde otro ángulo, que resulta con frecuencia sumamente clarificador.<sup>56</sup>

En su reciente ensayo sobre la sorprendente historia del modelo wegeneriano<sup>57</sup>, Naomi Oreskes avanza algunas claves. No es posible seguir sosteniendo, en opinión de esta autora, que la hipótesis del alemán fue rechazada porque no se propuso ninguna explicación verosímil del mecanismo causante de la deriva. Tales explicaciones sí que fueron propuestas: muy pronto por el propio Wegener (con un grado de verosimilitud que a nosotros puede parecernos bajo, condicionados, como lo estamos, por los conocimientos actuales, pero que no había razón para que lo fuera en el primer cuarto del siglo pasado) y, hacia finales de los años 20, por diversos partidarios de la deriva, entre los cuales destaca Arthur Holmes con una hipótesis convectivo-motriz muy coherente que anticipaba en lo esencial la explicación clásica del desplazamiento de las placas litosféricas (ver 4. 2. 1).

¿A qué pudo deberse entonces una reticencia tan fuerte? Según Oreskes –que nos recuerda que la hostilidad hacia la teoría de la deriva continental fue mayor en los Estados Unidos que en Europa– la principal razón tenía que ver con la exigencia implícita de modificar arraigadas actitudes epistemológicas (así, el cultivo, “a la americana”, de la vaguedad teórica en geología) y de estilo de trabajo (el “localismo” característico del geólogo de mediana escala, que fijaba la imagen tópica del profesional de la disciplina).

Considerando, por mi parte, válidas esencialmente las opiniones de Oreskes, me da la impresión, sin embargo, de que lo que más molestaba de Wegener era que se atreviera a teorizar –basándose en sólidos argumentos justificativos que apoyaban una

---

<sup>56</sup> Ver, p. ej., Mulkay, M., “El crecimiento cultural de la ciencia” en Barnes, B. *et al*, *Estudios sobre sociología de la ciencia*, Alianza, Madrid, 1980.

<sup>57</sup> Oreskes, N., *The Rejection...*

clara intuición de partida— acerca de la Tierra de manera tal que obligaba a cambiar radicalmente la imagen que se tenía de ella. Como dice Anthony Hallam: “Se podría avanzar un paso más y sugerir que el peor obstáculo [*para la aceptación de la deriva*] no era tanto la carencia de datos como el paradigma estabilista en tanto que *gestalt* de la Tierra.”<sup>58</sup> Ahora bien, ¿qué imagen, qué *gestalt*, era esa a la que se tenía tanto apego, y cuál era la nueva imagen que tales resistencias levantaba? La intuición central del modelo de Suess era, como hemos visto, el *enfriamiento* de la Tierra, su degradación termodinámica, causa de la *contracción* generadora de los fenómenos geológicos. La del modelo de Dana era la *permanencia* de los océanos y de los continentes, reconocidos correctamente como de naturalezas distintas y no intercambiables. Ambas imágenes del planeta *parecían* oponerse, pero en realidad contaban con un presupuesto de fondo idéntico: tanto la degradación continuada como la inmovilidad caracterizan a los objetos inertes, y esa inmensa bola de piedra que vendría a ser la Tierra manifiesta simplemente propiedades comunes a todos ellos. Pero hete aquí que llega alguien proponiendo un modelo según el cual la superficie de la Tierra (la única región directamente accesible, no se prejuzga el interior) está *animada* por unos extraños movimientos de traslación aparentemente no debidos a la degradación térmica global, que parecen revelar una peculiar vitalidad... No hacía ninguna falta hablar de “superorganismo”: el majestuoso despliegue de los continentes componía, de por sí, una expresiva imagen dinámica que ciertamente valía más que mil palabras. Tradiciones ajenas a la inorganicista, dada por supuesta por todos, eran implícitamente convocadas, y el resultado inmediato no podía ser otro que una gran agresividad dirigida contra el que había abierto la caja de Pandora.

#### 3. 6. 4. Las alternativas

¿Qué concepciones alternativas defendían los críticos de la *deriva*? La mayoría de ellos permanecían fieles a un modelo de la Tierra en que las áreas continentales y las oceánicas intercambiaban posiciones mediante hundimientos y emersiones, en línea con

---

<sup>58</sup> Hallam, A., *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*, p. 155.

las propuestas de Suess. Igualmente, las correlaciones entre áreas continentales distantes se seguían explicando no por una reunión antigua de las tierras implicadas, sino por los célebres “puentes intercontinentales”, antiguas Atlántidas sumergidas. Por lo demás, los defensores de semejante punto de vista eran incapaces de ofrecer para el mismo –y en eso estaban en pie de igualdad con Wegener– mecanismos explicativos verosímiles, si bien muchos de ellos seguían apelando tozudamente a la hipótesis contraccionista. En lo que se refiere al relieve terrestre, frente a la teoría wegeneriana que explicaba las orogénias por la resistencia que el manto, de consistencia fluida, opone al desplazamiento de los continentes –la cual provoca “arrugas de compresión horizontal”–, había todo un conjunto heterogéneo de hipótesis. Subsistía la ya ampliamente citada de las corrugaciones debidas al binomio enfriamiento-contracción, que gozaba del prestigio que le prestaba su propia añosa tradición; y junto a ésta, otras varias entre las que cabe destacar tres: 1. la de unas corrientes de convección del manto que no producirían desplazamientos laterales sino sólo efectos locales de compresión; 2. la basada en movimientos verticales de bloques de corteza; 3. la de la “analogía lunar”. Veámoslas más detalladamente.

1. Contando ya con el dato de la presencia de elementos radiactivos en el subsuelo, y sabiendo además que no se encuentran repartidos de manera homogénea, varios autores cuestionaron de raíz el enfriamiento progresivo de la Tierra, y pusieron sobre la mesa la pregunta contraria, de qué mecanismo telúrico es el que permite la evacuación del exceso de calor que genera la desintegración de tales elementos. Aunque este punto será tratado con mayor amplitud en el próximo capítulo, adelantemos ahora que las corrientes de convección que dicho calor debe poner en marcha en el manto –la capa subyacente a la corteza– se presentaron a los ojos de los referidos autores como el mecanismo más verosímil que podía facilitar la disipación geotérmica. Para que tales corrientes puedan existir, el manto terrestre debe ser de consistencia fluida “como el hielo o el lacre”, ya que, en todo caso, no es de consistencia líquida (pues tal posibilidad había quedado definitivamente descartada por el análisis de las ondas sísmicas), pues está bien claro que una zona subcrustal completamente rígida impediría las corrientes



de materia. El grupo formado por los geólogos y geofísicos que admitían la fluidez del manto se dividió entre moviistas (wegenerianos) y no moviistas, y a este segundo subgrupo pertenece el americano D.T. Griggs quien, siguiendo los pasos del inglés O. Fisher (*Physics of the Earth's Crust*, 1881), propuso en un artículo publicado en 1939<sup>59</sup> que en todo el espesor del manto terrestre (y no sólo en su parte superior) se halla establecida una circulación convectiva estructurada en amplias células cíclicas, que tiene su origen en las altas temperaturas del núcleo y que no goza de continuidad temporal sino que se establece de forma intermitente, con períodos de actividad de unos 60 millones de años, separados por fases de reposo mucho más largas; una circulación que hace que, esporádicamente, determinadas zonas de la superficie terrestre estén sometidas a fuertes compresiones, al converger por debajo de ellas corrientes de convección descendentes, con el resultado de la formación periódica de cadenas de montañas.

La teoría de la convección subcrustal no transportadora gozó de gran prestigio en los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado, hasta el punto de que puede ser considerada como la principal hipótesis orogénica con que entonces se contaba. Las aportaciones del geodésico y geofísico Vening Meinesz (1887-1966), en los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial, contribuyeron especialmente a fortalecerla.<sup>60</sup>

2. En 1930, el geólogo alemán Haarmann propuso una teoría alternativa a las de Wegener y Suess, de acuerdo a la cual en la orogénesis no juegan ningún papel ni los movimientos (o las fuerzas) horizontales ni la contracción terrestre.<sup>61</sup> La causa de la formación de las montañas y de depresiones como las de las cuencas oceánicas sería más bien la elevación y el descenso periódicos de grandes bloques autónomos de la parte profunda (*zócalo*) de la corteza. El autor se basa en ciertos hechos bien constatados, como el ascenso actual del escudo escandinavo y las transgresiones y

---

<sup>59</sup> Griggs, D.T., "A theory of mountain-building", *American Journal of Science*, 237 (1939), pp. 611-650.

<sup>60</sup> V. Meinesz, "Major tectonic phenomena and the hypothesis of convection currents in the Earth", *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 103, 1948, pp. 191-207.

<sup>61</sup> Haarmann, E., *Die Oszillationstheorie*, Ferdinand Enke, Stuttgart, 1930.

regresiones marinas que se observan en toda la escala estratigráfica, para concluir que, geológicamente hablando, todo puede explicarse recurriendo exclusivamente a movimientos en sentido vertical. Tanto Haarmann como los otros miembros de la escuela “verticalista” en su primera época (principalmente Van Bemmelen y H.P. Berlage, cuyas aportaciones datan de 1935) utilizan el desagradable nombre de “geotumores” para designar a las zonas que se levantan impulsadas por fuerzas de naturaleza isostática (originadas a partir de contrastes de densidad debidos sea a una diferenciación magmática primaria, sea a procesos secundarios metamórficos o geoquímicos). Han sido, sin embargo, los partidarios tardíos de esta teoría en la Unión Soviética, V.I. Lebedev (1953) y sobre todo V.V. Belusov (1955) quienes más han contribuido a darla a conocer. Según Belusov, la cobertera sedimentaria de los bloques que se levantan se desliza por gravedad hacia los lados, teniendo que hacer frente entonces a la resistencia –por fricción– del sustrato, y es así como se forman los complicados pliegues característicos de determinadas zonas orogénicas.

Todo parece indicar que esta tectónica de bloques con desplazamiento vertical gozó de apoyo oficial en la extinta URSS, incluso –durante algún tiempo– como doctrina a oponer a la naciente tectónica de placas.

3. No deja de presentar interés el que fue el primer (y único, que yo sepa) modelo de la Tierra que partía de suponer su estrecha similitud con otro cuerpo celeste. Ya Suess había estudiado minuciosamente el relieve lunar, en el tercer y último tomo (1909) de su *Faz de la Tierra*, y había llegado a la conclusión de que las montañas, circos y demás accidentes de la Luna tienen su origen en la contracción por enfriamiento del satélite. Exactamente lo mismo que –según la concepción suessiana– pasa con las irregularidades presentes en la superficie de nuestro globo. Pero fue el geoquímico francés A. Dauvillier quien, primero en una comunicación a la Academia de Ciencias<sup>62</sup> y luego en un libro<sup>63</sup>, dio una interpretación general del relieve del satélite, con la pretensión de que la misma era perfectamente aplicable a la Tierra. Dauvillier niega que los cráteres

---

<sup>62</sup> Dauvillier A. en *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 207, 1938, p. 452.

<sup>63</sup> Dauvillier, A., *Genèse, nature et évolution des planètes*, Hermann, París, 1947.

lunares sean huellas de impactos de meteoritos, y propone –tanto para ellos como para los “mares” de la Luna– un origen autóctono ligado a la dinámica formacional de nuestro astro acompañante: los cráteres o circos no serían sino los restos de enormes ampollas semiesféricas que, en la joven corteza lunar aun caliente y semifundida, nacían y aumentaban de tamaño hasta que reventaban, dejando escapar los elementos volátiles, en el curso del proceso primordial de desgasificación que sufrió nuestro satélite. Dauvillier añade que aquella delgada e incandescente corteza lunar, debilitada todavía más debajo de cada cicatriz, debió dejar fluir abundante lava en el interior de cada circo, incluidos los más grandes que se transformaron en los llamados mares lunares. La teoría actual sobre la evolución de la Luna reconoce, contra lo que pensaba Dauvillier, que los circos e incluso los mares proceden de impactos meteoríticos, pero le da la razón en lo tocante a que las regiones más grandes impactadas (los mares y algunos circos) fueron escenario, en un pasado remoto, de inmensas efusiones magmáticas, lo que explica que se trate de zonas oscuras, lisas y con pocos impactos (jóvenes, por tanto).

Sin embargo, Dauvillier no se ceñía a la Luna. Él creía que la analogía *en el origen* entre ésta y la Tierra era casi total, y que las cuencas oceánicas terrestres podían ser comprendidas en base al modelo que suministraban los mares lunares. Los fondos oceánicos basálticos (pues en los años treinta y cuarenta ya empezaba a haber datos oceanográficos) serían, por tanto, las cicatrices con relleno volcánico dejadas por el “hervor cortical” primigenio, y aquellas regiones en las que la corteza primitiva, por su mayor grosor, se libró de esa ebullición, serían los continentes. Fijismo, pues, puro y duro, como vemos, y sobre todo mucha especulación (se tiene la impresión de estar comentando un viejo libro portador, quizá, del título *Teoría de la Tierra inspirada en la Luna*); pero se trata también, como señalan Deparis y Legros<sup>64</sup>, de una primera comparación planetológica que tiene todo el valor de un precedente.

---

<sup>64</sup> Deparis & Legros, *op. cit.*, pp. 529-530.

### **3. 7. En el umbral de la revolución geotectónica**

#### **3. 7. 1. ¿Contracción o dilatación?**

Es cosa bien curiosa que dos *teorías de la Tierra* formalmente opuestas, una basada en la contracción y la otra en la dilatación del globo, hayan tenido una presencia importante en los años que precedieron a ese “encaje repentino de las piezas” que fue la *revolución científica* de la tectónica de placas. Estas dos *gestalten* contrapuestas no eran, sin embargo, totalmente simétricas, por el hecho de que la primera aparecía como el postrer eslabón de una larga tradición científica, en tanto que la segunda no dejaba de ser una novedad, con sólo pobres y muy marginales antecedentes, que surgía -diríamos- como polo *imaginal* compensatorio. Pues que esta segunda hipótesis, la de la expansión terrestre, manejase, por supuesto, *razones* sobre las cuales se apoyaba, no elimina su función de contrapunto de la tradición contraccionista.

Si esta última llega hasta el último tercio del siglo XX es gracias a la contumaz militancia a su favor del longevo Harold Jeffreys, que fue en su juventud el principal oponente de Wegener, y que mantuvo –aunque con matices– su postura hasta el fin de sus días. Jeffreys no pretendía ignorar el obstáculo que la generación de calor por desintegración de elementos radiactivos representaba para el presupuesto fundamental de la contracción, que es el enfriamiento de la Tierra. Lo asumía como problema, pero lo consideraba superable asumiendo ciertas hipótesis suplementarias, contando con las cuales elaboró su modelo.

La hipótesis suplementaria principal de Jeffreys era que los elementos radiactivos se concentran en las capas superficiales del globo y están prácticamente ausentes de las capas más internas (el manto inferior y el núcleo), de manera que el interior profundo de la Tierra no acumula calor ni tiene, por tanto, necesidad de evacuarlo como creían los anticontraccionistas desde la primera década del siglo. De hecho, el interior de la Tierra más bien se estaría enfriando y contrayendo como en el modelo de Suess.

En realidad, no fue Jeffreys el primero en postular esta hipótesis de la concentración superficial de los elementos radiactivos. Esta importante matización al descubrimiento de que el radio y otros materiales radiactivos están presentes en nuestro globo en cantidades significativas (Marie Curie, Pierre Curie y Laborde, 1902-1903; Joly, 1903<sup>65</sup>) la introdujo Lord Rayleigh en 1906<sup>66</sup>, al constatar que los granitos son mucho más radiactivos que los basaltos. Ahora bien, siendo los granitos rocas *siálicas*, es decir, ligeras y propias únicamente de la superficie de la Tierra, mientras que los basaltos, densos, forman parte del *sima* subyacente, la diferencia de concentración observada permite inferir que la radiactividad en profundidad, donde sólo hay rocas densas, debe ser mucho más débil que en superficie. De ser efectivamente así, el planeta no acumularía calor, y la teoría direccionalista heredada –basada en el binomio enfriamiento-contracción– podría seguir sosteniéndose.

A lo largo de su vida, Jeffreys atravesó varias etapas: del contraccionismo post-suessiano de su juventud, pasó a un cierto estabilismo (en lo tocante a las dimensiones del planeta) basado en su idea de la diferente variación de volumen de las distintas capas de la Tierra. Pues la segunda hipótesis *ad hoc* que asumió es que el manto superior, entre los 70 y los 500 km de profundidad, tiene una tendencia expansiva (por la fuerte presencia en él de elementos radiactivos, unida a su dificultad para evacuar el calor) mientras que la corteza la tiene contractiva (puesto que en ella el calor se irradia fácilmente). Estas dos tendencias opuestas, variables además en el curso de los tiempos geológicos, producen diferentes tipos de tensiones corticales que desencadenan, a su vez, orogénias. Hay que observar asimismo que Jeffreys, que se negó durante toda su vida a admitir la existencia actual de corrientes de convección subcrustales, reconocía sin embargo que tales corrientes tenían que haber sido un mecanismo esencial en la Tierra primitiva, de cara a evacuar el exceso de calor y a permitir la consolidación primordial del globo. Deparis y Legros nos recuerdan que “Jeffreys vuelve a considerar la idea del origen caliente de la Tierra, y trata de entender el proceso de solidificación

---

<sup>65</sup> Deparis & Legros, *op. cit.*, p. 435.

<sup>66</sup> Rayleigh (Lord), “On the distribution of radium in the Earth’s crust, and on the Earth’s internal heat”, *Proc. Roy. Soc. London*, A77, 1906, pp. 472-485.

tomando en cuenta el calentamiento radiactivo interno. Sus trabajos se apoyan en los que llevó a cabo Adams en 1924. La Tierra, primitivamente fluida, se enfrió inicialmente por convección.”<sup>67</sup> Así pues, Tierra fluida “sólo en los primeros tiempos”, como en los modelos de Leibniz y Buffon.

En lo que se refiere a la *expansión de la Tierra*, yo distinguiría entre la “imagen en sí” y las “teorías científicas” que la toman como base. El objeto de referencia de la primera es extremadamente simple y hasta algo grotesco: un globo de goma que se hincha por el aumento de presión del gas contenido en su interior. Tal evocación no es ningún despropósito: fue así como, literalmente, se presentó la primera “teoría” de la expansión terrestre, la de Mantovani (1889), pésimo –aunque imaginativo– aficionado a la geología, que, siendo cónsul en La Reunión, concibió una peregrina teoría de la Tierra: nuestro planeta es un auténtico globo que se ha estado inflando desde su formación. ¿Motivos para creer tal cosa? Por supuesto, no faltan. Muchas líneas de costa (el golfo de Guinea, el de Vizcaya...) parecen las dos puntas abiertas de un compás, otras (Sudamérica y África) casan perfectamente entre sí. Plegando todos esos accidentes geográficos como se pliega un abanico, “se reconstruye un pequeño globo, más compacto que el actual, que recuerda por sus dimensiones al pequeño planeta Mercurio”.<sup>68</sup> No sabiendo gran cosa de física y tampoco muy informado de las teorías geológicas de la época, Mantovani trató de fundamentar su *intuición visual* en el único mecanismo disponible en aquel momento: el hinchado de un globo. Yo no llamaría “teoría científica” a la propuesta de Mantovani. Él simplemente concibió una imagen telúrica “que faltaba”, un poco a la manera de un escritor –¡no necesariamente extraordinario!– que, con sus metáforas e imágenes literarias, contribuye a “amueblar” nuestro universo intersubjetivo.

Obviamente marginal y absolutamente a contracorriente de las teorías contraccionistas todavía dominantes, Mantovani fue, no obstante, reinterpretado y

---

<sup>67</sup> Deparis & Legros, *op. cit.*, p. 438.

<sup>68</sup> Mantovani, *Bull. Soc. Sci. et Arts de la Réunion*, 1889, pp. 41-53; reprod. en “L’Antarctique”, *Je m’instruis*, 19 sept. 1909, París.

recuperado por algunos partidarios de la deriva continental, que le presentaron como un precursor de Wegener. Así, por ejemplo, J. Bourcart aprovechó la aparición de la primera traducción francesa de *El origen de los continentes y océanos*, en 1924, para dar a conocer a la comunidad de los geólogos galos la aventurada conjetura de Mantovani. Y hay que decir que, sorprendentemente, la imagen prosperó: durante varias décadas se consideró que una explicación de la deriva continental tan verosímil como cualquier otra era la inflación del globo terráqueo. ¿No se estaba precisamente entonces (Hubble, 1929) modelizando la expansión del universo mediante un globo que se hincha, sobre cuya superficie están “pintadas” las galaxias? Por otra parte, sí que habían aparecido –ya lo hemos visto– algunas razones de orden físico que apuntaban a una posible expansión de la Tierra: cada vez eran más los geólogos y geofísicos, con Holmes (desde 1925) a la cabeza, que pensaban que el problema de la evacuación del calor generado en el interior de nuestro globo por la desintegración radiactiva, distaba mucho de estar resuelto, y este problema -si es que realmente existía- sólo podía tener dos soluciones: o mecanismos eficaces de disipación (era por lo que apostaba Holmes, como veremos en el próximo capítulo) o dilatación de la Tierra. Así pues, resulta que la *gestalt* de Mantovani, se diría que inútil y sin el menor fundamento serio cuando él la concibió, “venía bien” cuarenta años después.

Varias teorías de la expansión terrestre dignas de tal nombre surgen, en efecto, a partir de 1930, y conocen incluso su momento de gloria en los años cincuenta y sesenta. Como una dilatación importante del globo implica necesariamente el desgajamiento y la separación de los bloques continentales (fig. 13), los “expansionistas” pasan a ser, durante las cuatro décadas largas de marginalización de la teoría de la deriva, una de las corrientes que forman sus partidarios. Pero es que, además, mediado el siglo, la *gestalt* de la expansión se independiza de la *causa eficiente* hipotética que la había hecho respetable, el calentamiento radiactivo de la Tierra... El físico relativista inglés Paul Dirac (1902-1984) había emitido, en 1937, una célebre hipótesis que lleva su nombre: la de la disminución, en el transcurso de

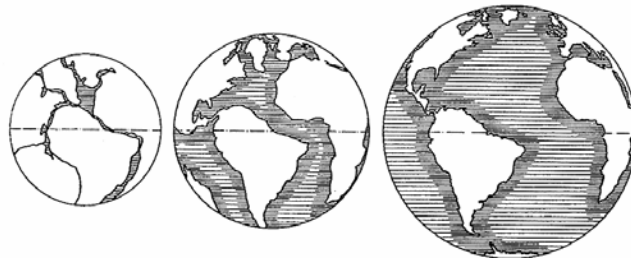


Figura 13. La Tierra en expansión, según Carey

los tiempos geo-cosmogónicos, de la “constante” gravitacional  $g$ <sup>69</sup>; y en 1952, P. Jordan extrajo las consecuencias de dicha hipótesis para la Tierra: si  $g$  ha disminuido, la presión gravitacional que comprime al planeta habrá decrecido (sin que, por lo demás, haya habido disminución de masa), y el resultado ha tenido que ser la dilatación del globo.

El relativo prestigio que alcanzó la hipótesis de Dirac relanzó, pues, la teoría de la expansión justamente cuando se producían los descubrimientos oceanográficos —en gran parte, geofísicos— que iban a ser decisivos de cara a la eclosión de la nueva tectónica global. De hecho, la formación de nueva corteza en las cadenas centro-oceánicas fue considerada enseguida por los partidarios de la expansión como una prueba de que el planeta se dilata.

En el caótico pero prometedor panorama de la geología globalista de mediados del siglo XX, no es de extrañar que científicos tan notables como Tuzo Wilson exploraran diferentes modelos —reestructuraran varias veces su *perspectiva gestáltica*. Pues resulta que el futuro padre de la tectónica de placas apostaba, todavía en 1960, por el expansionismo<sup>70</sup>, y se refería de entrada a la hipótesis gravitacional de Dirac. Aun más curioso es el caso del australiano Warren Carey (n. en 1911), considerado como el

<sup>69</sup> Dirac, P. en *Nature*, 139, 1937, p. 323. Observemos que se trata de una hipótesis rabiosamente antiuniformitarista, ya que contradice el punto n° 1 de la doctrina de la uniformidad: el de la constancia de las leyes físicas a lo largo del tiempo.

<sup>70</sup> Wilson, T., “Some consequences of expansion of the Earth”, *Nature*, 185, 1960, pp. 880-882.



máximo representante del expansionismo, quien empezó defendiendo una deriva continental a radio terrestre constante y movida por corrientes de convección, ¡en definitiva, la del modelo geotectónico! Pero tras una activa militancia en favor del moviismo clásico en los todavía difíciles años cincuenta, se pasó al expansionismo a finales de esa década<sup>71</sup>, cuando ya indicios numerosos preparaban la “gran revolución de las ciencias de la Tierra”, como T. Kuhn y A. Hallam –entre otros muchos– han llamado al nacimiento de la tectónica de placas. Carey creyó, de entrada, que los rifts centro-oceánicos –en ausencia de zonas de subducción, que él no admitía– imponían la expansión, y su convicción se reforzó al asumir una teoría física todavía más sorprendente que la hipótesis de Dirac: la de la *creación continua de materia* en el universo. Tal asunción le condujo a aceptar que la Tierra en expansión ni siquiera mantiene constante su masa (dejando aparte el balance entre ganancias meteoríticas y pérdidas atmosféricas) sino que la ha incrementado sensiblemente a consecuencia del fenómeno cósmico señalado.<sup>72</sup>

Sobrevenida la “revolución geotectónica” entre 1966 y 1968, las teorías de la expansión terrestre, en su apogeo de 1952 a 1965, ven caer mucho su aceptación, pero no desaparecen. Carey insiste, publicando la obra de referencia del expansionismo (*The Expanding Earth*, 1976) y organizando un simposio (Sydney, 1981). Y de hecho, la teoría expansionista no ha abandonado del todo la escena: un testimonio aun reciente de que, aunque muy minoritaria, sigue viva, lo encontramos en el *Bulletin du Muséum national d’Histoire naturelle* de París, que publicó en 1996 un artículo con el título (en inglés) de “Earth Expansion, Plate Tectonics and Gaia’s Pulse”<sup>73</sup>, en el que el autor, Martin Pickford, sigue defendiendo la expansión de la Tierra. Una expansión “de fuerza desigual, según el hemisferio” (lo que habría conducido a una Tierra con forma de pera, de no ser por la reguladora fuerza de

---

<sup>71</sup> Carey, W. & O’Keefe, J.A. en *Science*, 130, 1959, p. 978.

<sup>72</sup> Ver Gohau, G., “Expansion terrestre” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 399-400.

<sup>73</sup> Ver *Bull. Mus. N. d’Hist. Nat.*, París, 4<sup>e</sup> série, 18, 1996, sec. C, 2 - 3, pp. 451-516.

gravedad), cuya causa no es ni la acumulación interna de calor ni ninguna de las otras propugnadas anteriormente, sino “el estado de *plasma* en que se encuentra gran parte de la materia del interior del globo, que provoca la formación continua de átomos por simple unión protón-electrón, lo que conduce a su vez a un aumento de volumen sin que haya incremento de masa.”

Parece que ni siquiera el triunfo de la tectónica de placas ha bastado para detener la producción de *teorías de la Tierra*.

### 3. 7. 2. La cicatriz de la Luna

Hay que señalar, por último, el papel geológico fundamental reservado a nuestro satélite por una hipótesis telúrica que gozaba de considerable credibilidad hasta poco tiempo antes de la consagración del paradigma geotectónico. Se trata de la teoría de que la cicatriz que habría dejado la Luna al desprenderse de la Tierra es la gigantesca cuenca del océano Pacífico. Esta conjetura podría muy bien encabezar todo un capítulo concerniente a los vínculos causales –y no meramente analógicos, como en el modelo “geo-selénico” de Dauvillier– que, en distintos campos (geológico *sensu stricto*, hidrológico, cinético, paleoclimático...), ligan las dinámicas terrestres a la Luna. La pareja astronómica que forman la Tierra y su gran satélite, constituye –según los especialistas en planetología– un *sistema planetario doble* en órbita en torno al Sol. Esto hace que la importancia física de la Luna para la Tierra no pueda ser minimizada. Pero de lo que se trata ahora es del *origen de la Luna* y de su eventual importancia para la geología terrestre. De las tres hipótesis que han sido propuestas (Luna capturada, formación simultánea de la Tierra y la Luna sobre la misma órbita, y origen terrestre de la Luna), es lógicamente la tercera la que posee mayores consecuencias geológicas. Notemos de paso que, hasta el momento, ha sido imposible zanjar entre las tres hipótesis.

Georges H. Darwin (no confundir con Charles Darwin), en 1879, fue el primero en proponer que la Luna podía proceder de la Tierra. Pensaba que la rápida rotación de nuestro planeta en los tiempos en que se encontraba en un estado incandescente y fluido, pudo bastar para hacer que un gran glóbulo de material ígneo se desprendiera por centrifugación.<sup>74</sup> Pero hasta Osmond Fisher, uno de los precursores del moviismo, nadie había planteado que el área de eyección fuera una región determinada. Este geólogo afirmó, en un artículo publicado en 1882<sup>75</sup>, que había buenas razones para creer que la Luna se había desprendido de la Tierra dejando la enorme “señal” del Pacífico. Es de notar que el moviismo continental es perfectamente compatible con esta concepción, ya que el supercontinente de Pangea, que representaría la parte de la primitiva corteza terrestre que se conservó intacta, se habría dividido –y habría repartido, poco a poco, sus pedazos por toda la superficie del globo– como mecanismo compensatorio a largo plazo del déficit de material continental dejado por la Luna en uno de los hemisferios, al abandonar la Tierra; déficit materializado por la inmensa cuenca del océano Pacífico, que la deriva continental tiende a estrechar. Esta imagen del Pacífico como enorme cicatriz estuvo muy presente a lo largo de la primera mitad del siglo XX. En todo caso (se admitiera o no la hipótesis del desprendimiento de la Luna) se pensaba que el Pacífico era un *océano arcaico*, una inmensa cuenca que existe desde, prácticamente, el origen de la Tierra. Fue el descubrimiento, en los años 1945-1950, de que no existen, bajo la capa sedimentaria que tapiza el fondo del Pacífico, materiales anteriores al Mesozoico, lo que impidió seguir viéndolo como el legendario océano primitivo.

### 3. 7. 3. La “resistencia” moviista

Que la mayoría de los científicos de la Tierra –y la gran mayoría de las instituciones en las que éstos participaban– no diesen crédito a la teoría de los desplazamientos

---

<sup>74</sup> Darwin, G.H., “The precession of a viscous spheroid and the remote history of the Earth”, *Philosoph. Transactions of the Roy. Soc. of London*, 170, 1879, pp. 447-538.

<sup>75</sup> Fisher, O., “On the physical cause of the ocean basins”, *Nature*, 25, 1882, pp. 243-244.

continentales en el período comprendido entre 1925 y 1965, no significa que durante esas cuatro décadas la teoría de Wegener se volatilizara. Es preciso subrayar que marginalización no es sinónimo de desaparición, y en todo ese tiempo la “danza de los continentes” ejerció una gran fascinación tanto sobre el gran público como sobre una minoría de geólogos prestigiosos, de los que algunos se convirtieron, incluso, en ardientes propagandistas de la misma. Por lo demás, desacreditada y todo, la deriva continental se seguía enseñando, aunque fuese con una media sonrisa, un poco como algo más bien inverosímil pero acerca de lo cual “nunca se sabe”.<sup>76</sup>

Entre los que seguían convencidos, contra viento y marea, de que los continentes se movían, destacan los nombres del sudafricano Du Toit (1878-1948) y del suizo Émile Argand (1879-1940). El primero era un gran especialista en la geología regional del cono sur de África, que había notado las enormes similitudes paleontológicas y estratigráficas que existen entre esta zona y América del Sur, especialmente Brasil. Los primeros artículos en que dio a conocer sus observaciones llamaron la atención de Wegener, en 1927, y a partir de las muchas citas mutuas que menudearon desde entonces entre los dos investigadores, surgió entre ellos un profundo respeto que hace que varios historiadores de la geología consideren a Du Toit como el principal seguidor de Wegener entre 1927 y 1948.<sup>77</sup> Además de contribuir a desarrollar una visión de la evolución de la superficie del globo basada en la deriva, enfatizando, por ejemplo, la existencia de *dos* continentes mesozoicos (Laurasia y Gondwana) al este del surco atlántico primitivo, separados entre sí por un ancho *Mar de Tetis* que se ha ido, poco a poco, estrechando y del que sólo quedan restos (los mares Caspio, Negro y Mediterráneo), Du Toit desplegó –tanto en su libro principal, *Our wandering continents*

---

<sup>76</sup> “Con posterioridad a 1930, el estatus de la teoría de las traslaciones pasa a ser un tanto particular. Si bien es claramente rechazada por la mayoría [*de los científicos*], no por ello es enteramente olvidada. Incluso sigue figurando (aunque no se muestre especial entusiasmo hacia ella) en los libros, y sigue estando en el trasfondo de las especulaciones geológicas.” (Deparis, V., “Dérive des continents” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, p. 298).

<sup>77</sup> p. ej., Anthony Hallam, *Grandes controversias geológicas*, p. 132.

(1937) como en numerosos artículos– un celo propagandístico que sí llegó, en su caso, a dar la impresión de que trataba “más de defender una causa que de buscar la verdad”.<sup>78</sup>

Más sobrio en sus manifestaciones, y probablemente también más fecundo si se consideran las propuestas que planteó partiendo de la “hipótesis movilista”, el suizo francófono Émile Argand empezó a interesarse en la teoría de la deriva en la primera mitad de los años 20. Lo que le llamó sobre todo la atención fue el poder explicativo del fenómeno de la orogénesis que posee esta teoría. Argand llegó a concebir la formación de los Alpes y de la cadena del Himalaya prácticamente en los mismos términos en que lo hace la actual tectónica de placas, como un efecto de la fortísima compresión lateral de las capas sedimentarias que provoca –incluso en la actualidad– la aproximación, o el “choque”, de dos continentes (Europa y África, en el caso de los Alpes; el subcontinente indio y Asia, en el del Himalaya). Al parecer, fue Argand quien popularizó los términos de “movilismo” y “fijismo” para referirse a las doctrinas geológicas de la deriva y de la estabilidad continental, respectivamente.<sup>79</sup>

Otros defensores destacados de Wegener en la “etapa heroica” de la marginalización de la teoría de la deriva fueron el americano R.A. Daly (que apoyó el movilismo en su libro *Our mobile Earth*, publicado en 1926) y el británico Bailey, notable geólogo estructuralista.

---

<sup>78</sup> Ver Hallam, A., *De la deriva de los continentes...*, p. 58.

<sup>79</sup> Argand, E. en *Comptes Rendus du XIII<sup>e</sup> Congrès Geologique International*, Lieja, 1924.

### 3. 8. Comentario final: la guerra de los principios reguladores

La panorámica de los dos primeros siglos de historia de la geología científica muestra un peculiar campo de batalla: el que constituye una disciplina en cuyo marco se producen sucesivas confrontaciones –de gran virulencia– entre pares de concepciones fundamentadoras que se plantean como mutuamente excluyentes. Tales concepciones son de dos clases: *claves genésicas* y *principios-guía*.

La dicotomía que formaban dos claves genésicas contrapuestas, como son *la que lo hace proceder todo de la acción del agua*, y *la que todo lo funda en el poder del calor o del fuego*, se situó en el origen mismo de la ciencia geológica, de una ciencia en la que la observación (el “trabajo de campo”) era ya básica para todos sus cultivadores con independencia de la escuela a que pertenecieran. El neptunismo y el plutonismo recogían lejanos ecos de aquellas filosofías presocráticas que atribuían a uno solo de los cuatro elementos la generación de todo cuanto existe. De todos modos, mayor importancia han tenido históricamente los *principios-guía* en el desarrollo de las geociencias. Uniformitarismo y catastrofismo, ciclicidad y direccionalismo, estabilismo y movilismo... Asociados siempre por pares dicotómicos, los principios-guía de las distintas escuelas geológicas han estado presentes indefectiblemente desde principios del siglo XIX hasta la aceptación generalizada de la tectónica de placas. ¿Qué son esos principios-guía? Todo parece indicar que se trata de explotar a fondo, en cada caso, el potencial heurístico de *una* idea o “tema” en sentido holtoniano. Inspirándose en el “dogma” de turno, aquél que constituye el núcleo duro de una determinada geotradición de investigación<sup>80</sup>, algunos geólogos elaboran teorías y llevan a cabo descubrimientos que poseen significado en el marco de dichas teorías. Es decir, partiendo de una determinada asunción considerada fundamental, los geólogos de una

---

<sup>80</sup> Los límites entre tradiciones de investigación y tradiciones culturales se difuminan bastante en geología. Piénsese, por ejemplo, en el alcance cultural que tienen las tradiciones dicotómicas del estabilismo y el movilismo (que comprometen la imagen, ¿estática o dinámica?, de nuestra morada terrestre) o, más aun si cabe, en el del geoorganicismo.

cierta escuela despliegan una heurística más o menos exitosa. Está, pues, meridianamente claro que los principios en cuestión son *reguladores*, en el sentido, definido por Kant en la *Crítica de la Razón Pura*, de que se trata de unos principios “que sirven para extender la experiencia lo más lejos posible”<sup>81</sup>. Esto resulta especialmente evidente en el caso del uniformitarismo, pero enseguida nos damos cuenta de que el catastrofismo -su principio antagónico- posee un carácter análogo. Y el mismo carácter tienen, en alguna medida, los demás principios-guía citados más arriba y otros que ahora no he mencionado pero que han ido apareciendo a lo largo del capítulo.

Se podría pensar que el peso cada vez mayor de los “principios” con relación a las claves genésicas indica una progresiva ganancia de abstracción en la aproximación científica a la Tierra, lo cual va en el sentido de una homogeneización con las demás ciencias. Pero tal cosa aparece dudosa teniendo en cuenta que, a lo largo de la última centuria, los principios reguladores que han estado en primer plano no han sido tan abstractos como el del uniformitarismo.<sup>82</sup> Pues, en el siglo XX, las dicotomías que más han polarizado la visión de la Tierra han sido más bien *estabilismo / movilismo* y *asistemismo / sistemismo*, siendo esta última heredera directa de otra muy antigua: *inorganicismo / organicismo*. Tales dicotomías presentan, por lo demás, un semblante sumamente nítido de “contraposiciones paradigmáticas”.

---

<sup>81</sup> “...Es, pues, un principio de la razón que postula, en cuanto regla, lo que hemos de hacer en el regreso, pero que *no anticipa* qué es lo dado en sí en el objeto con anterioridad a todo regreso. Por eso lo llamo *principio regulador* de la razón.”(...) “Con esta distinción [*entre principio constitutivo y principio regulador*] he querido (...) impedir que se atribuya realidad objetiva a una idea que sólo sirve de regla, como ocurre inevitablemente (en virtud de una subrepción trascendental) si no se hace tal distinción.” (Kant, I., *Crítica de la razón pura*, Alfaguara, Madrid, 1986, p. 448-449).

<sup>82</sup> De todos modos, es bien cierto que numerosos autores que hoy en día se ocupan de la historia y la epistemología de las ciencias de la Tierra, hacen referencia al ascenso reciente de las posiciones *neocatastrofistas*. Semejante planteamiento parece, no obstante, revelar un cierto anclaje en una polaridad dicotómica (la que se estableció entre el uniformitarismo y el catastrofismo) que, me parece, se debería dar, a estas alturas, por superada. No creo, en consecuencia, que la fórmula en cuestión tenga por delante un gran futuro.

La coordenada temática o cualitativa está presente por igual en las claves genésicas y en los principios reguladores que han servido, en diferentes momentos, de puntos de apoyo para el desarrollo de la geología. Como es evidente, por lo demás, que el *imaginario gestáltico* de la Tierra, cuyo despliegue no se ha interrumpido en los dos últimos siglos (y si se duda, échesele un vistazo a la imagen “cinematográfica” de la figura 12), sintetiza visiones de carácter cualitativo, es posible concluir que la ciencia de la Tierra ha funcionado históricamente como una especie de laboratorio de “temas” y de paradigmas (entendiendo este último término más en el sentido de Edgar Morin que en el de Thomas Kuhn). Frente a (o quizás complementando) la esquelética sequedad de los *principia mathematica* de la física, la geología ha estado aportando otra cosa: una cierta “carne” a la vez conceptual y sintético-visual que posee significados tangibles para el ser humano, significados que están mucho más próximos a su “nivel de realidad”.

Reproduzco, para terminar, un párrafo de la obra de von Engelhardt y Zimmermann *Theory of Earth Science*, que encuentro especialmente iluminador. Un párrafo que podría complacer a Edgar Morin y a los demás defensores del principio de complejidad:

Nada obstaculiza más el desarrollo del conocimiento que el prejuicio que crea la tiranía de *un solo* principio regulador. Antes se creía que la integridad y la autonomía de la ciencia de la Tierra únicamente podían quedar garantizadas por la primacía de un solo principio, especialmente el del actualismo. Sin embargo, en la investigación científica de la Tierra se cuenta actualmente con una multiplicidad de principios reguladores, algunos de los cuales contradicen parcialmente a los demás. Lo que unifica, no obstante, las diversas disciplinas en la totalidad integrada de *una* ciencia no es solamente la base material que supone el contar con un objeto o tema común, sino la dialéctica misma que se establece entre los principios reguladores, y en particular la que se da entre actualismo y no-actualismo. La investigación, en todas las disciplinas, viene caracterizada por esta tensión.<sup>83</sup>

---

<sup>83</sup> von Engelhardt, W. & Zimmermann, J., *op. cit.*, p. 330.



## Capítulo 4. La revolución científica de la Tectónica de placas

### 4. 1. *Una Tierra llena de energía*

#### 4. 1. 1. Radiactividad interna

Desde un punto de vista histórico, no cabe la menor duda de que el descubrimiento de la generación continua de calor en los procesos de desintegración radiactiva tuvo efectos extraordinariamente importantes tanto para la evolución de las ciencias de la Tierra como sobre la imagen que se tenía del planeta. Como hemos visto en el capítulo anterior, muy poco tiempo después del descubrimiento del radio y de su peculiar actividad ya se alzaban voces proponiendo una revisión radical del modelo del enfriamiento continuado, que se quedaba sin fundamento físico desde el momento que había aparecido una fuente de energía que debía –con elevada probabilidad– estar presente en los materiales internos, y que parecía, en principio, capaz de compensar –y tal vez de superar con creces– la disipación del *calor residual*.

Frente al nuevo dato se definieron inicialmente dos posturas entre los científicos –aparte de la consistente en ignorarlo pura y simplemente, que fue la que mantuvo el anciano lord Kelvin y que, en rigor, no cabe considerar científica–, que pueden resumirse mediante los términos “minimización” y “magnificación”. De las posturas minimizadoras ya se ha hecho mención: fueron las que mantuvieron quienes, como Rayleigh, Jeffreys y Holmes (con anterioridad a 1925), sostenían que el confinamiento prácticamente total –que ellos suponían– de los elementos radiactivos en la corteza terrestre, o incluso en la capa más superficial de ella, bastaba para que fuese irrelevante

la acumulación de calor en el interior del globo a causa de la desintegración de esos elementos.

Vamos pronto a hablar de la otra postura, la que concedía una enorme trascendencia geológica a la existencia de una energía interna que no es meramente residual y que, si bien no puede ser eterna, sí que posee una duración –y una tasa de generación– compatible con el mantenimiento de un calor interno terrestre estable o incluso creciente. Digamos ya que esta postura “energetista” contribuyó a reverdecer la vieja intuición huttoniana (y aristotélica) de una Tierra que se auto-regenera permanentemente, en vez de degradarse: “El lento trabajo de levadura de la radiactividad –escribió Arthur Holmes tras su “conversión” al energetismo– permite a la Tierra rejuvenecerse periódicamente.”<sup>1</sup> Ahora bien, ese “lento trabajo de levadura” tenía que ver con la disipación del calor que, imparablemente, se iba acumulando en el interior de un globo terráqueo supuestamente poseedor de un porcentaje apreciable de elementos radiactivos. Y es la *función disipativa* necesariamente asociada la que hace aparecer los ciclos, esos mismos ciclos que postulaba Hutton contando con la existencia de un calor interno, y que Lyell daba, sin más, por supuestos. Más de medio siglo antes de que Ilya Prigogine sistematizase el sentido y las modalidades de esta función, Bénard, en el año 1900, ya había estudiado el caso más elemental, el de un líquido contenido en un recipiente ancho y aplanado que se calienta lentamente desde abajo, y había observado cómo se forman células de convección hexagonales que estructuran tanto la totalidad de la superficie como el conjunto del volumen del líquido.<sup>2</sup>

Antes de exponer varias *teorías telúricas cíclicas* que remiten, todas ellas, a la disipación del exceso de energía de origen radiactivo, considero conveniente introducir –aunque sea someramente– el concepto de *estructura disipativa* que ha definido la termodinámica de los procesos alejados del equilibrio desarrollada por Ilya Prigogine y sus colaboradores, a partir de los años 60.

---

<sup>1</sup> Holmes, A., “Radioactivity and the Earth’s Thermal History”, part V (“The Control of Geological History by Radioactivity”), *Geological Magazine*, 62, 1925, p. 544.

<sup>2</sup> Ver, p. ej., García Velarde, M. & Normand, C., “Convection” en *Scientific American*, vol. 243, 1, julio 1980, pp. 92-108.

#### 4. 1. 2. Energía, entropía y estructuras disipativas

Una explicación especialmente clara de la naturaleza de estas estructuras, así como de su papel fundamental en el dominio biológico, la encontramos en la conferencia de E.D. Schneider y J.J. Kay incluida en una interesante recopilación de textos realizada para conmemorar el cincuentenario del célebre opúsculo de Schrödinger titulado *¿Qué es la vida?*<sup>3</sup> Pero, antes que nada, se hace imprescindible referirse a algunos conceptos básicos.

El concepto de *energía* tiene detrás una larga historia. El término griego original (*energeia*) significa “fuerza” o “acción eficaz”, y fue al parecer Bernouilli quien lo introdujo en el lenguaje científico (o, más precisamente, en el de la mecánica) a comienzos del siglo XVIII, definiéndolo como “el producto de la fuerza aplicada a un cuerpo, por el desplazamiento infinitesimal sufrido por ese cuerpo bajo el efecto de tal fuerza” (en una carta a Varignon, de fecha 26 de enero de 1717).<sup>4</sup> “Energía” pasó, más tarde, de ser un simple sinónimo de “trabajo” o “capacidad para producirlo” (a partir de la identificación que establece Bernouilli) a entenderse como “la magnitud física que produce todos los cambios de estado”, magnitud cuya cantidad total se conserva en el curso de todas las transformaciones (*primer principio de la termodinámica*). El status ontológico de la energía ha ido, pues, subiendo peldaños claramente a lo largo de la historia de las ideas científicas. Pero hay que reconocer que no por ello, ni por estar perfectamente formalizado, deja dicho concepto de contener un importante remanente de oscuridad (de nuevo se hace aquí patente la diferencia entre “representación formal”, que permite la operatividad y la obtención de resultados, y “comprensión clara”); pues si, de acuerdo con Einstein, “materia” es esencialmente idéntica a “energía”, ¿qué cosa es la que sufre los cambios que dan sentido al concepto de energía? ¿Y qué era aquella inmensa energía, anterior a toda materia estructurada, que se desplegó en el *big bang*?

---

<sup>3</sup> Schneider, E.D. & Kay, J.J. (1995), “Orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología” en *La biología del futuro. “¿Qué es la vida?” cincuenta años después*, M.P. Murphy & L.A.J. O’Neill (ed.), Tusquets, Metatemas, Barcelona, 1999.

<sup>4</sup> cit. por Françoise Balibar, “Énergie” en D. Lecourt (dir), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, p. 344.

Por otra parte, por mucho que una metafísica -más o menos explícitamente asumida- de la *dynamis* como esencia del Ser (dinamicismos varios, *energetismo* de W. Ostwald...) haya estado, por así decir, en el aire durante la mayor parte del siglo XX, la misma no deja de entrar en seria contradicción con el reconocido parmenidianismo einsteniano... Vemos que, en todo caso, el tema no es fácil.

*Entropía* es un concepto mucho más reciente que el de energía, que se puede decir que surgió de la constatación de una aparente contradicción que se da en el mundo físico: si, por una parte, la conversión de trabajo en calor era un hecho comprobado (a partir de los experimentos de Rumford, que explicó Joule en la década de 1840, arrumbando definitivamente el *fluido calórico*), la transformación inversa no se produce “de cualquier manera” sino que exige imperativamente que se cumpla la condición de existir dos focos térmicos a distinta temperatura, y por tanto un transporte de calor partiendo de una diferencia térmica inicial que, una vez anulada, imposibilita la producción de más trabajo (o de más “efectos mecánicos”, correspondientes directamente al primitivo modo de entender la energía) por mucho que la cantidad total de calor -es decir, de *energía calorífica*- continúe siendo la misma. Aparecía así una irreversibilidad física insuperable, que introducía una orientación aparentemente ineludible a la *parálisis cósmica final*, ya que una vez igualados todos los focos térmicos, homogeneizada la temperatura del universo, no quedará ningún elemento motor. La homogeneización térmica supone la llegada a un estado no tanto de completa igualación como de probabilidad máxima en lo que se refiere a la distribución de la energía cinética de los átomos dentro de un determinado volumen de gas; por lo que se entiende, a partir de Boltzmann, el crecimiento de la *entropía* como la aproximación al estado de máxima probabilidad. Esto, obviamente, en sentido estrictamente cinético-térmico. Pero es fácil percibir la iluminadora modelización que introduce este concepto (como, por lo demás, también el de energía) en múltiples campos muy alejados de aquél en que primeramente se originó, el de la termodinámica. Y es que la crispación que, de tiempo en tiempo, manifiestan algunos científicos y filósofos de la ciencia frente al hecho de la utilización por pensadores muy diversos del enorme potencial metafórico de las ciencias, no creo que lleve a nada. Lo único que ciertamente cabe

exigir a los que hacen uso de nuevos conceptos científicos para enriquecer, por vía metafórica, el fondo lingüístico de la experiencia humana (general) es haber comprendido, de verdad, dichos conceptos.<sup>5</sup>

La evolución de un sistema cerrado le lleva siempre a incrementar su *entropía*, o a que, en el límite, ésta permanezca invariable, de acuerdo al *segundo principio de la termodinámica*. Pero si el sistema es abierto, es decir, si lleva a cabo intercambios energéticos con el medio externo, entonces la variación de su entropía queda definida por una suma:

$$dS = dSi + dSe \quad (1)$$

en la que  $dSi$  (la variación de la entropía dentro del sistema) es positivo, mientras que el otro sumando,  $dSe$  (la variación de entropía a causa de los intercambios exteriores), puede ser positivo o negativo. Ahora bien, en caso de que  $dSe$  sea negativo y supere en valor absoluto a  $dSi$ ,  $dS$  será también negativo. Esto significa que los sistemas físicos que intercambian energía con el medio (la cual puede estar contenida eventualmente en materia, asimismo objeto de intercambio) pueden, en ciertas condiciones, reducir su entropía, o lo que es lo mismo, aumentar su orden interno, su *neguentropía*, relacionada directamente con el *contenido de información* del sistema. Es así como nacen esas “unidades de orden superior” u *holones* (Arthur Koestler) que von Bertalanffy llamaba “sistemas verdaderos” y los creadores de la *Gestalt*, “formas naturales”.

Schneider y Kay manejan un par de conceptos que se revelan útiles de cara a entender el funcionamiento de las estructuras disipativas. El primero es el de *exergía*, próximo al más conocido de “energía libre”: la cantidad total de energía no degradada, o lo que es lo mismo, utilizable para producir trabajo o transformaciones de algún tipo.

---

<sup>5</sup> Esta es la única lectura válida que, a mi modo de ver, cabe hacer del famoso *affaire* Sokal. Todo intento de ir más allá, sugiriendo, por ejemplo, una “prohibición” de utilizar, fuera de su campo originario, los modelos y metáforas que se generan en el ámbito científico, respondería a una tentación integrista a la que, por lo demás, ningún dominio cultural es totalmente inmune.

Para que  $dS$  sea negativo en **1** es preciso que el flujo energético que llega al sistema procedente del medio sea rico en exergía, ya que la energía total -que incluye la degradada- no es lo que en realidad cuenta.

El segundo lo constituye una interesante reformulación del segundo principio, de acuerdo a la cual la disipación de la exergía que recibe el sistema tiende siempre a una maximalización que, en las condiciones alejadas del equilibrio que impone -más allá de un cierto umbral- el propio flujo energético en presencia, empuja a los sistemas a explorar modos de disipación (compatibles en todo caso con las restricciones existentes) que implican disminuciones locales, grandes incluso, de la entropía, o lo que es lo mismo, la aparición de nuevas formas ordenadas más eficientes -de cara a dicha disipación- que la forma desordenada inicial. Como la exergía no es sino energía útil, la aparición de estas formas implica la *presencia medioambiental de gradientes*. Así, dos fuentes netas de exergía son la energía solar y el flujo geotérmico.

Nuestros autores afirman explícitamente:

La vida puede contemplarse como una estructura disipativa lejos del equilibrio que mantiene su nivel de organización local a expensas de introducir entropía en el entorno.<sup>6</sup>

Quédese este importantísimo tema para los dos siguientes capítulos, y demos ahora la palabra a Prigogine:

Tal como lo hemos visto, *tanto el azar como la necesidad* juegan un papel esencial en los procesos de autoorganización. Podemos considerar las estructuras disipativas como fluctuaciones gigantes mantenidas con flujos de energía y de materia. Son realmente el resultado de fluctuaciones, pero una vez formadas pueden ser estables frente a un amplio rango de perturbaciones.(...) Intuimos que cerca de las bifurcaciones las fluctuaciones deben ser “más grandes” de lo que son usualmente. El sistema empieza a “escoger” entre varias posibilidades. La presencia de fluctuaciones anormalmente grandes caracteriza los puntos de cambio, incluso en la tecnología o en la historia de la humanidad.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Schneider, E.D. & Kay, J.J., *op. cit.*, p. 229.

El equilibrio no se alcanza nunca sin oscilaciones alrededor del punto que él mismo representa. Esas oscilaciones se denominan *fluctuaciones*, y se van amortiguando paulatinamente en la evolución normal de los sistemas, hasta llegar al equilibrio (en rigor inalcanzable, ya que el proceso es asintótico). Sin embargo, si una fluctuación, inducida por un flujo de energía, se amplifica más allá de un cierto umbral, puede ocurrir que el sistema, en vez de regresar al estado inicial, tome otro rumbo; y puede ocurrir también que se reestructure entonces globalmente, adquiriendo una configuración holística capaz de disipar de manera mucho más eficaz el flujo energético incidente. Asistiremos entonces al nacimiento de un *todo* dotado de una clase de orden superior, y poseedor de propiedades completamente nuevas.

#### 4. 1. 3. La “Tierra pulsante” de Joly

A uno de los primeros científicos que se sintieron fuertemente impresionados por las consecuencias que la existencia de la radiactividad podía tener para la Tierra, el británico John Joly (1857-1933), profesor de geología en Dublín, se debe un modelo global cíclico que, pese a ser muy distinto de la tectónica de placas, yo no dudaría en considerar, por razones de fondo, como un antecedente de esta teoría.

La hipótesis de Joly parte de rechazar –de acuerdo con los datos que se iban obteniendo– el confinamiento estricto de los elementos radiactivos en la capa más superficial de la corteza, y de admitir en consecuencia una acumulación inevitable y progresiva de calor en las zonas profundas de esa misma corteza, o en su base. En un libro<sup>8</sup> y en varios artículos aparecidos entre 1923 y 1928, Joly expone las extraordinarias consecuencias que tiene, según su concepción, dicha acumulación de calor: Hay un momento en que las rocas de la base de la corteza se encuentran a una temperatura que está justo por debajo de su punto de fusión, pero enseguida la continua

---

<sup>7</sup> Prigogine, I. & Stengers, I. (1979), *La nueva alianza*, trad. esp.: García Velarde, M., Alianza, Madrid, 1990, pp. 166-167.

<sup>8</sup> Joly, J., *The Surface History of the Earth*, Oxford, 1925.

emisión de calor por los elementos radiactivos hace que ese límite se sobrepase, y entonces tales materiales se funden, se genera de forma masiva un magma cuyo volumen es mayor que el de las rocas de partida, de modo que se produce un fuerte aumento de la presión interna que sufre la corteza. Fallas de tensión, fisuras y grietas se forman, en consecuencia, en múltiples puntos de la superficie terrestre. Tiene lugar un importante incremento de la sismicidad y del vulcanismo, se producen derrames de lava (sobre todo en los fondos oceánicos) y –lo que es más llamativo– el globo en su conjunto experimenta una cierta expansión. Ahora bien, todo esto permite que una fracción significativa del calor acumulado en la base de la corteza se evacúe; y al suceder esto con relativa rapidez, el magma expansivo vuelve a solidificarse; se produce una contracción generalizada que tiene por consecuencia inmediata la formación de “arrugas orogénicas”; y el diámetro terrestre se reduce de nuevo. A partir de ese momento, el calor radiactivo vuelve a tener dificultades de evacuación, de manera que vuelve a acumularse en profundidad. Y el ciclo recomienza.

La imagen gestáltica de la “Tierra-corazón” pasa, así, a ocupar un hueco que faltaba por llenar en el *imaginario telúrico*.

Pero hay más. Este modelo sugiere, desde luego, una estructura disipativa global. La “forma de conjunto” que emerge es la de una esfera palpitante que despliega diversas dinámicas cíclicas, pero hay que señalar además que este modelo incorpora los desplazamientos continentales, los cuales se producirían solamente en las *fases fusionales*, las únicas en que los continentes cuentan con un sustrato fluido, interrumpiéndose en las fases de solidificación. La causa invocada por Joly para la movilidad sería astronómico-gravitacional o, lo que es lo mismo, mareal; no, por tanto, las corrientes de convección, que tienen que existir, lógicamente, en el seno del magma, pero a las que Joly no parece dar mayor importancia (los efectos de fluidificación y dilatación son los que, para él, cuentan). Pero, por grandes que sean las diferencias entre este modelo y el de la tectónica de placas, está el hecho de que ambos se basan en la asunción –más o menos intuitiva o explícita– de la necesidad de que la dinámica interna terrestre se organice de tal manera que la Tierra funcione globalmente como un



termostato; y ello porque, de no ser así, se calentaría cada vez más debido a los materiales radiactivos que contiene (y quizá también por otras causas) y su expansión volumétrica se haría imparable (lo que Joly suponía que no era el caso). Si la “Tierra de Joly” posee una fisonomía tan marcadamente cíclica es porque su termostato funciona sincopadamente, un poco como los verdaderos termostatos que regulan nuestras estufas eléctricas. Pero pueden existir, por supuesto, otros modos, otros mecanismos, de disipar eficazmente el calor que se genera en el interior del globo. Fueren éstos los que fueren, deberán basarse, en todo caso, en ciclos, según han probado las investigaciones sobre estructuras disipativas llevadas a cabo por Prigogine. Una estructuración que bien se puede llamar *proserpínica*<sup>9</sup> surge, pues, necesariamente cuando toda la energía libre en presencia ya no puede ser disipada por irradiación y/o conducción simple. Ahora bien, una forma igualmente cíclica pero algo más velada que la que concibiera Joly, de disipar el flujo geotérmico, es la que propone el *modelo geotectónico*, la tectónica de placas, cuyo potencial estructurante global es, de hecho, muy superior al de la “Tierra palpitante” del profesor de Dublín. En el apartado siguiente vamos a ver que dicho modelo geotectónico había sido ya, de hecho, “visualizado” más de un tercio de siglo antes de que tuviese lugar la célebre revolución científica de la tectónica de placas que pusieron en marcha Hess, Dietz y Tuzo Wilson, entre otros. Y lo que es todavía más sorprendente: que el mismísimo Wegener llegó a tener un vislumbre de los principios en que se basaría dicha revolución.

Finalizaré esta referencia al sorprendente modelo telúrico de Joly haciendo mención a la posibilidad de que el mismo se realice... en Venus. Pues la dinámica efusiva antigua que se ha detectado en este planeta vecino de la Tierra bien podría ser periódica o pulsante.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> De Proserpina (Perséfone entre los griegos), hija de Ceres (Deméter), que inauguró el ciclo estacional en la Naturaleza, al quedar resuelto, por decisión de Zeus o de Rhea, el conflicto que enfrentaba a su madre con su raptor, Plutón (Hades), mediante una salomónica sentencia que establecía que la joven debería permanecer seis meses al año sobre la Tierra, con Deméter, y otros seis meses en el reino subterráneo de Hades.

<sup>10</sup> Ver Herrick, R.R., “Resurfacing history of Venus”, *Geology*, 22, 1994, pp. 703-706.

## 4. 2. Hacia la Tectónica Global

### 4. 2. 1. El manto convectivo

A la larguísima polémica sobre si el interior de la Tierra es sólido o fluido, se superpuso otra a partir de finales del siglo XIX: la centrada en la existencia o no de corrientes telúricas de convección. Fue uno de los principales precursores de la hipótesis de la deriva continental, el pastor protestante inglés Osmond Fisher (al que ya me he referido), quien planteó el primero, en 1881, que existen en el interior de la Tierra (que él consideraba fluido) corrientes de convección que son responsables, además, de la orogénesis, por el efecto de corrugación que producen en la corteza sólida al “arrastrarla” por debajo.<sup>11</sup> Este modelo teórico conoció considerable fortuna, siendo recuperado –prácticamente tal cual– la última vez por Griggs en 1939 (ver capítulo anterior).

Aunque los partidarios de la convección terrestre no apostaron “automáticamente” por la deriva continental una vez que Wegener hubo dado a conocer su modelo, la verdad es que tampoco eran proclives a oponerse a ella; y dado que el sustrato fluido que presuponían constituía una de las condiciones, si es que no la principal condición, de la hipótesis wegeneriana, no es de extrañar que Jeffreys metiese en el mismo saco a los movi­listas y a los convectivistas.

En la segunda década del siglo XX, el problema estaba planteado de la siguiente manera: existían evidencias de elevaciones y descensos de áreas continentales, sin duda a causa de las variaciones de la carga (glaciar principalmente) que soportaban. Un buen ejemplo lo proporcionaba Escandinavia, que claramente se está levantando. Ahora bien, estos *movimientos isostáticos* verticales exigen, para poder producirse, un sustrato fluido..., ¡el mismo que la transmisión de las ondas sísmicas parecía excluir completamente! Y está bien claro que sin un cierto grado de fluidez no puede haber

---

<sup>11</sup> Fisher, O., *Physics of the Earth's Crust*, Macmillan, Londres, 1881.

corrientes de convección, que suponen flujo de materia, aunque sea muy lento. Pero es que la clave podría residir precisamente en este punto de la *extrema lentitud* del proceso: un material que, como el lacre o el hielo, es extremadamente quebradizo frente a esfuerzos intensos y breves, se vuelve fluente si las fuerzas aplicadas “no tienen ninguna prisa”, tal como se constata con los dos materiales que se acaban de citar (y en el caso del hielo, observamos como las lenguas glaciares “corren” como agua líquida en el transcurso de siglos o milenios). Por otra parte, estaba el problema de la disipación del calor interno terrestre. Los que pensaban que el manto contenía una proporción no despreciable de elementos radiactivos estaban obligados a afrontar el problema de cómo se disipaba la energía que generaban al desintegrarse. La reducida conductividad térmica de las rocas constituía un problema añadido. La cuestión, estudiada por Rayleigh y Jeffreys, entre otros, era saber si la elevación de la temperatura con la profundidad podía permitir que las rocas fluyesen lentamente a unas decenas de kilómetros bajo la superficie, sin necesidad de que llegaran a fundirse (cosa, esta última, incompatible con los datos sismológicos). El riguroso planteamiento del problema por lord Rayleigh (1916) se basaba en que el empuje de Arquímedes de los materiales inferiores, más ligeros por hallarse a elevada temperatura, tiene que vencer la resistencia viscosa de las rocas sobrecalentadas; de modo que, al variar la relación entre ambas fuerzas, un cierto umbral –denominado en su honor *rayleigh crítico*– debe ser superado para que se formen corrientes de convección bajo la corteza sólida y rígida.<sup>12</sup>

Más o menos al mismo tiempo, Barrell (1914-1915) definía la astenósfera como la capa rocosa dúctil –de espesor indefinido, pero presumiblemente muy grande– que subyace a la corteza, capaz de fluir en períodos largos, y de permitir tanto los desplazamientos verticales (¿y por qué no los horizontales?) como la existencia de corrientes de materia.<sup>13</sup> Esta hipótesis de la astenósfera, que hoy sólo aceptan algunos científicos de la Tierra, y eso con grandes matizaciones, se mostró útil en su momento,

---

<sup>12</sup> Lord Rayleigh en *Phil. Mag.*, 32, 1916, 529-546.

<sup>13</sup> Barrell, J., “The strength of the Earth’s crust”, *Journ. of Geol.* 22, 1914, y 23, 1915.

en especial por su capacidad para conducir a un desbloqueo de la teoría de la deriva. Lo más sorprendente es que tal desbloqueo no se produjo de momento a nivel institucional, pese a adquirir la teoría movilista, merced a esta hipótesis, mucha mayor plausibilidad... Veamos los pasos que se franquearon a partir de 1920.

– En 1921, A.J. Bull retoma la hipótesis orogénica de Fisher (que había recibido ya el apoyo de Ampferer en 1906, y de Schwinner en 1919), y lo hace en los siguientes términos:

Se sugiere aquí que el plegamiento de las cadenas de montañas ha podido ser producido por la fricción ejercida por los movimientos de la astenósfera, y que estos movimientos pueden ser convectivos, y resultar de un calentamiento desigual [*del interior de la Tierra*] por los elementos radiactivos.<sup>14</sup>

No se trata, pues, de apoyar simplemente una teoría que ya era vieja (había sido formulada hacía 40 años). Bull aprovecha la ocasión para introducir una hipótesis nueva, ésta de su cosecha: la de que el calentamiento radiactivo subcortical *puede ser desigual* (es de suponer que por la heterogénea distribución de los elementos radiactivos) y que *de ahí puede derivarse la aparición de corrientes de convección*.

– Seis años después, este mismo investigador, “convertido” ya al movilismo wegeneriano, *conjetura* exactamente en el mismo sentido en que los padres de la geotectónica habían de *teorizar* cuarenta años más tarde:

Otra sugerencia afirma que una fuerza suficiente para desplazar partes importantes de la corteza terrestre podría provenir de movimientos de convección afectando a la materia situada inmediatamente debajo de la corteza, pero al respecto disponemos de pocas pruebas.(...) La dislocación del continente permo-carbonífero de Gondwana, con África en el centro, y la deriva de la India hacia el nordeste, de Australia hacia el este, de la Antártida oriental hacia el sudeste y de Sudamérica hacia el oeste, parecen sugerir la ascensión de semejantes corrientes de convección...<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Bull, A.J., “A hypothesis of mountain building”, *Geol. Mag.*, 58, 1921, p. 364.

– Ni siquiera Bull era el único en hacer, por aquellas fechas, estas lúcidas suposiciones: Schwinner -ya citado- y Kirsch<sup>16</sup> también se adelantaron a otro precursor de la tectónica de placas mucho más conocido y citado, Arthur Holmes, de quien enseguida vamos a ocuparnos. Esto permitió a Wegener conocer –apenas dos años antes de su muerte, y cuando ya su teoría era el blanco predilecto de todos los sarcasmos– algunos premonitorios anticipos de lo que había de ser, cuatro décadas después, la visión teórica paradigmática en la que “su” deriva continental quedaría integrada. Y a continuación, cito, no sin un punto de asombrada admiración, el siguiente texto realmente notable incluido en la 4ª edición alemana de *El origen de los continentes y océanos*:

Recientemente, varios autores como Schwinner y especialmente Kirsch, han utilizado el concepto de corrientes de convección en el Sima.(...) Como ya hemos mencionado anteriormente, hasta ahora la mayoría de los autores considera improbable que el Sima se encuentre en condiciones de relativa fluidez, tal y como se ha supuesto. Considerando la geología superficial, sin embargo, no se puede negar que la separación de Gondwana, como asimismo la del antiguo bloque continental formado por Norteamérica, Europa y Asia, podría concebirse como una consecuencia de una circulación del Sima como la propuesta. Esta idea también ofrece aparentemente una buena explicación de la apertura del océano Atlántico; por tanto, no puede ser rechazada arguyendo que los fenómenos observables en la superficie terrestre la contradicen. Si la base teórica de este concepto se revelase adecuada para apoyarlo, cosa que aun no se puede apreciar actualmente, entonces habría que considerarlo en cualquier caso como un factor contribuyente a la formación de la superficie terrestre.(...) Podemos sin embargo, aceptar algo como seguro: *Las fuerzas que desplazan los continentes son las mismas que producen las grandes cadenas de montañas plegadas.*<sup>17</sup>

La única observación que cabe hacer aquí es que, por mucho que puedan impresionar las anteriores palabras de Wegener, las mismas no hacían sino expresar una conjetura más de las muchas que el científico germano manejó a lo largo de su vida para tratar de

---

<sup>15</sup> Bull, A.J., “Some aspects of the mountain building problem”, *Proceed. of the Geologist’s Ass.*, 38, 1927, p. 154.

<sup>16</sup> Kirsch, G., *Geologie und Radioaktivität*, Springer, Viena / Berlín, 1928.

<sup>17</sup> Wegener, A., *El origen...*, pp. 160-161.

explicar la deriva (fuerzas mareales, de Eötvös, etc.). Aunque también es verdad que un párrafo como este pone de relieve con singular fuerza el genio indiscutible de aquel meteorólogo reconvertido en geólogo que, se diría, veía desplazarse los continentes sobre la faz de la Tierra un poco como las borrascas y los anticiclones.

– Dos artículos de Arthur Holmes, publicados en 1928 y 1931, constituyen el máximo testimonio de que la concepción de fondo que subyace a la tectónica de placas “estaba ya ahí” treinta años antes de la formulación *histórica* del modelo. Tras haber incluido explícitamente, en su artículo de 1928 <sup>18</sup>, un reconocimiento de los trabajos de Bull como antecedente inmediato de su hipótesis, y asimismo una referencia al modelo de Joly, diciendo que se trataba de proponer una alternativa al mismo, Holmes se centra, en su texto mucho más extenso y elaborado de 1931 <sup>19</sup>, en el problema de la disipación del calor interno radiactivo. Sólo secundariamente trata de explicar la deriva continental. En realidad, para él la cuestión no es “deriva sí o deriva no”, sino cómo se evacúa el exceso de calor que se produce en el interior de la Tierra. No se trata, como era el caso para Wegener, de explicar a toda costa un fenómeno de superficie que, de forma hipotética, se postula -la deriva-, sino de encontrar *qué se hace con algo* -el calor interno- que, siendo en sí mismo un “efecto necesario” (de la radiactividad, para el caso), necesita abrirse un camino de salida (incluso desplegando, para ello, todo su potencial causativo). El enfoque es, en este sentido, completamente distinto del que tenía el berlinés: en vez de lanzarse a conjeturar, para dar cuenta “como sea” de un único supuesto efecto, tenido por fundamental, Holmes desemboca sobre ese mismo efecto, pero considerándolo ahora como una *consecuencia lógica*, aunque secundaria, *de una causa* (el calentamiento interno acumulativo) admitida como necesaria y *esencial*. Si bien, ciertamente, el “supuesto” en cuestión, el modelo de la deriva continental, era conocido por Holmes de antemano: no fue él quien lo descubrió por

---

<sup>18</sup> Holmes, A., “Radioactivity and Continental drift”, *Geol. Mag.*, 65, 1928.

<sup>19</sup> Holmes, A., “Radioactivity and Earth movements”, *Transactions of the Geol. Soc. of Glasgow*, 18, 1931.

deducción, a partir de cero... Podríamos, por tanto, hablar de confirmación por vía deductiva de un modelo, de una visión<sup>20</sup>, preexistente.

Dice Holmes: “Uno de los objetivos del presente artículo es discutir un mecanismo para descargar el exceso de calor, que implicaría una circulación de materia en el sustrato mediante corrientes de convección, y asimismo examinar la deriva continental producida por dichas corrientes.”<sup>21</sup> Para añadir más adelante: “Para evitar el calentamiento permanente [*de la Tierra*] es necesario contar con un proceso, tal como la deriva de los continentes, que haga posible la emisión de calor.”<sup>22</sup> La concepción –o si se quiere, la intuición– *avant la lettre* de las estructuras disipativas está, por tanto, presente ya en Holmes, partiendo del problema muy concreto de la evacuación de la energía geotérmica de origen radiactivo. La solución que él encuentra a este problema sigue de cerca el modelo convectivo experimental de Bénard, y justifica desplazamientos de masas continentales como los que había estado defendiendo Wegener hasta su muerte, producida justo antes de la publicación del segundo artículo de Holmes. Todo un modelo teórico coherente, simple y elegante que habría merecido mejor fortuna que dormir en las hemerotecas durante cerca de 40 años.

Aparte de un cierto dogmatismo, o puede que “limitación imaginativa” –que no son pocos los historiadores de la geología en detectar en las décadas centrales del último siglo–, el problema era que realmente había una gran escasez de datos acerca de los fondos oceánicos y de las capas profundas de la Tierra. Esto, todo el mundo lo reconoce. Quizás hacía falta, simplemente, saber esperar.

---

<sup>20</sup> En sentido literal, como sinónimo de visualización: no hay, en efecto, cosa más visual que un globo terráqueo sobre el que, majestuosamente, se desplazan los continentes.

<sup>21</sup> Holmes, A., “Radioactivity and Earth movements”, p. 565.

<sup>22</sup> *ibid.*, p. 574.

#### 4. 2. 2. Cosecha de datos

Los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial constituyeron un típico período pre-revolucionario en geología global. Afirma Kuhn que en tales etapas se acumulan los *enigmas*, los datos observacionales que las teorías aceptadas son incapaces de explicar sin recurrir a artificiosas hipótesis *ad hoc*. Asegura también Kuhn que es entonces cuando, por lo común, los partidarios de tales teorías más se resisten a reconocer el fracaso de las mismas, desplegando en su defensa actitudes dogmáticas, lo cual él considera normal y hasta positivo para el desarrollo de la ciencia, constituyendo el "pulso" entre la resistencia de las antiguas concepciones y el empuje de las nuevas, la *tensión esencial* que da título a una de sus obras.<sup>23</sup>

Todos estos rasgos se hicieron presentes de forma extremadamente nítida en el ámbito de los estudios globales de la Tierra, entre 1945 y 1965: la exploración directa de los fondos oceánicos, vuelta al fin posible, aportó entonces una impresionante serie de datos enigmáticos, mientras el *establishment* de los geólogos y geofísicos adversos a la movilidad continental mantenía e incluso endurecía sus posiciones.

##### 4. 2. 2. 1. Los nuevos datos oceanográficos

Fue sobre todo del lado del océano de donde llegaron las observaciones decisivas, que acabaron haciendo insostenibles los modelos estabilistas y llevando a una revisión del juicio descalificador que pesaba sobre la hipótesis de la movilidad continental. La investigación oceanográfica mediante sondeos del fondo marino despegó con fuerza entre 1945 y 1950, y los primeros resultados aportaron ya dos sorpresas: la primera fue el descubrimiento de las cordilleras dorsales oceánicas, de carácter volcánico (lo que implica que a través de ellas fluye una elevada cantidad de calor), con una depresión central (o *rift*) y con una extraña continuidad alrededor de la Tierra; la segunda la constituyó la comprobación de que en el fondo del mar no hay, en absoluto, rocas

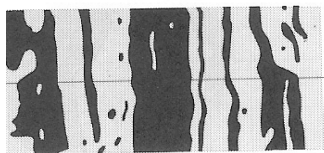
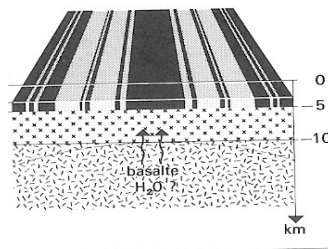
---

<sup>23</sup> Kuhn, T., *La tensión esencial*, Fondo de Cultura Económica, México, 1983.



ígneas graníticas, así como tampoco rocas sedimentarias anteriores al Mesozoico. Esto último supuso, entre otras cosas, la invalidación de la idea -muy extendida hasta ese momento- de que el Pacífico era un "océano arcaico" con un lecho contemporáneo, o poco menos, de la consolidación del globo.<sup>24</sup> E hizo surgir la pregunta de por qué no existen océanos arcaicos (ni el Pacífico ni ningún otro), de por qué los fondos oceánicos son tan jóvenes, a diferencia de los continentes cuyas variadas litologías dan testimonio de todas las edades del planeta (existen, de hecho, en los continentes rocas metamórficas de 4000 millones de años, casi coetáneas de la formación de la Tierra). Por otra parte, un sustrato basáltico -es decir, volcánico- se encontró en todos los océanos por debajo de la capa de sedimentos. Se confirmaba, pues, plenamente la hipótesis -tan cara a Wegener- de una diferencia cualitativa esencial, litológica y de densidad, entre los fondos oceánicos y los escudos continentales.

Además, una nueva técnica que dio nacimiento a toda una rama científica altamente especializada, hizo aumentar rápidamente el conocimiento del fondo de los océanos. Se trata de los procedimientos de medición del magnetismo fósil que conservan algunos



microcristales contenidos en las lavas solidificadas, unos procedimientos que abrieron la puerta al estudio sistemático del *paleomagnetismo terrestre*. Sofisticados métodos de extracción y análisis de muestras permitieron, a partir de 1950, determinar la orientación del campo magnético planetario en el instante de producirse el enfriamiento de cualquier fragmento de lava. Ahora bien, cuando estas técnicas se utilizaron para estudiar los basaltos subsedimentarios de las cuencas oceánicas, los resultados fueron sorprendentes:

Figura 14

Bandeado magnético  
fondooceánico

<sup>24</sup> Ver capítulo 3, p. 196.

aparecieron bandas alternas con magnetización inversa (es decir, con los dipolos magnéticos desfasados  $180^\circ$ ) que son simétricas respecto del eje –o perfil longitudinal central– de cada cordillera dorsal (fig. 14). Esto se observa en todos los océanos, pero despliega la máxima espectacularidad en el Atlántico, con una sola dorsal marcando su mitad, respecto de la cual el bandeo magnético es casi perfectamente simétrico. La cordillera dorsal atlántica supera el nivel de las aguas en dos zonas: las islas Azores e Islandia, caracterizadas por su intensa actividad volcánica.

#### **4. 2. 2. 2. Datos sísmicos, volcánicos y gravimétricos**

Por otra parte, cuando se avanzó lo suficiente en dos importantes tareas de apariencia rutinaria, como son el recuento de los puntos volcánicos (actuales o históricos), y el de los terremotos importantes registrados a lo largo de la historia, se vio que tales fenómenos telúricos no se reparten al azar, sino que se concentran –en términos estadísticos– en ciertas zonas geográficas lineales, que dibujan un curioso mapamundi (fig. 15).

Se observó también que el vulcanismo oceánico es, en general, muy diferente del continental: los volcanes de las dorsales emiten lavas basálticas, pobres en sílice; por el contrario, los de los márgenes continentales sísmicamente activos –como por ejemplo, los existentes en la cordillera de los Andes– dejan escapar lavas "andesíticas" cuyo alto contenido en sílice es parecido al de los granitos y al de los detritos continentales.

Por otra parte, la localización precisa de los focos de los terremotos que se producen en ciertos márgenes continentales (como las costas orientales de Asia) permitió determinar que los mismos se sitúan –siempre estadísticamente– sobre un plano inclinado que se sumerge bajo el continente formando un ángulo de unos  $45^\circ$  (*zona de Benioff*). Además, el notable desarrollo alcanzado por las técnicas gravimétricas en los

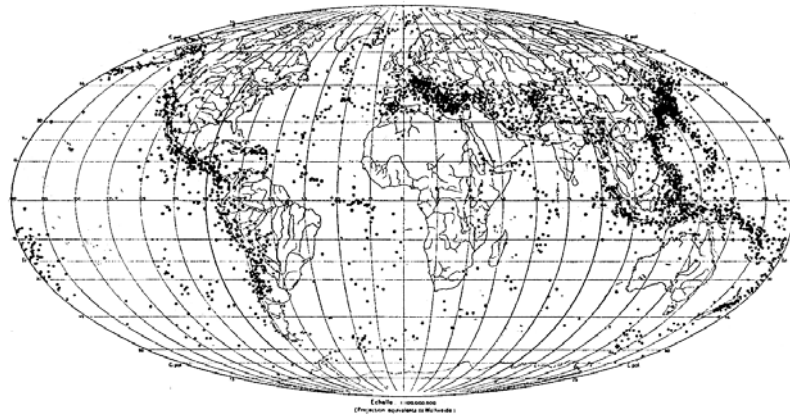


Figura 15. Epicentros de grandes sismos (1913-1933)

años cincuenta condujo a la efectiva detección de las profundas raíces de baja densidad que poseen las cadenas de montañas y las mesetas elevadas, raíces cuya existencia se sospechaba desde hacía mucho; e igualmente a la plena confirmación de la alta densidad de los fondos oceánicos, así como a otros descubrimientos inesperados, como el de las importantes anomalías negativas de gravedad que se registran sobre las fosas marinas.

### **4.3. La composición del puzzle terrestre**

#### **4.3.1. El gran juego telurodinámico: algunos participantes ilustres**

Los hallazgos geológicos y geofísicos que acabo de reseñar, no fueron los únicos que se realizaron en las *décadas prodigiosas* que van desde el final de la SGM a los primeros años setenta. Habría que reseñar también el descubrimiento de que el grosor de la corteza oceánica (unos 10 km) es considerablemente menor que el de la corteza

continental (30-40 km), basado en las variaciones de profundidad detectadas en la *discontinuidad de Mohorovic*, superficie de separación entre ambas cortezas y la capa superior -de consistencia fluida- del manto, la célebre y discutidísima *astenosfera*. Asimismo, el desarrollo de métodos de correlación entre series estratigráficas de distintos continentes, referidos a la presencia de isótopos radiactivos, llevó a establecer continuidades transoceánicas insospechadas. Y la aplicación de los recién inventados ordenadores al análisis del ajuste entre continentes separados entre sí por océanos permitió llegar finalmente a la conclusión de que coincidencias morfológicas, como las que cualquiera puede apreciar mirando un mapa, entre la costa oriental de Sudamérica y la occidental de África, no pueden ser casuales, e incluso sirvió para establecer que el mejor ajuste posible se da entre las plataformas continentales (zócalos cubiertos por aguas someras, que rodean los continentes) y no entre las líneas de costa.

Se diría, pues, que la Tierra iba entregando, una tras otra, las piezas de su puzzle, pero no el patrón figurativo, la “forma oculta”. Dar con ella parecía requerir un esfuerzo suplementario.

Doy noticia breve, a continuación, de algunos destacados participantes en el apasionante “juego” de componer el rompecabezas del planeta:

- **Harry Hess**. A este investigador de la Universidad de Princeton se debe, en 1960, la primera referencia a la expansión del suelo oceánico. Su interpretación de los principales datos oceanográficos (exceptuados los relativos al magnetismo fósil, que todavía no tuvo en cuenta) le llevó a proponer una atractiva hipótesis: los fondos marinos se expanden lateralmente desde las cordilleras dorsales, entendidas como expresión topográfica de la presión de magmas ascendentes procedentes del manto, y también como *zonas de nacimiento de corteza oceánica*; y “mueren” en las fosas marinas próximas a los continentes y a los “arcos de islas”, donde inflexionan, sumergiéndose bajo la corteza continental, más ligera, y fundiéndose gradualmente a partir de una cierta profundidad. Debido a su expansión, el suelo oceánico obliga a los continentes a separarse, o mejor dicho, a moverse los unos con respecto a los otros, pues

también pueden darse casos de convergencia. Toda esta movilidad de alcance global, que deja muy atrás la deriva wegeneriana, estaría causada por ciclos de convección de los materiales fluentes del manto, exactamente como treinta años antes pensaba Holmes, que hoy aparece como el precursor más lúcido de la tectónica de placas. En parte por modestia, Hess definió su propia propuesta como un “ensayo de geopoesía”.<sup>25</sup>

**R.S. Dietz** expuso prácticamente las mismas ideas que Hess, en *Nature*, en 1961<sup>26</sup>; pero existen, al parecer, pruebas fiables de que ninguno de los dos investigadores cometió plagio ni se inspiró en el otro, así que estaríamos ante un caso típico de “descubrimiento doble” o incluso múltiple, como enseguida veremos.

**F.J. Vine**, y **D.H. Matthews**. Partiendo de un reciente descubrimiento geofísico, el de las inversiones periódicas del campo magnético terrestre, estos dos científicos (respectivamente, un *research student* de Cambridge, y su supervisor académico) dieron con una prueba extraordinariamente brillante de la expansión de los fondos oceánicos, que permitía de paso establecer una técnica para medir su velocidad: suponiendo que el suelo marino basáltico nazca realmente en unas dorsales que no son sino zonas en las que tiene lugar una efusión volcánica lenta y continua (visible sólo en algunos puntos), entonces los microcristales sensibles contenidos en el magma deberán registrar la orientación del campo magnético terrestre en el momento mismo en que se enfrían por debajo del *punto de Curie*. Los nuevos aportes magmáticos que no cesan de afluir desde el manto, no sólo elevan la dorsal sino que la ensanchan hacia ambos lados, causando así la expansión del suelo oceánico; y como esos magmas ascendentes se magnetizan al enfriarse, registrarán el sentido del campo magnético, cualquiera que éste sea... Y así, a lo largo de un proceso de duración indefinida.

Este mecanismo da como resultado una especie de “grabación magnetofónica” doble y simétrica, sobre el suelo oceánico en continuo crecimiento, de todas las inversiones

---

<sup>25</sup> Hess, H.H., “History of ocean basins”, en A.E.J. Engel (ed.), *Petrologic studies*, Geol. Soc. of Amer., Boulder (Colorado), 1962.

<sup>26</sup> Dietz, R.S., “Continent and ocean evolution by spreading of the sea floor”, *Nature*, 190, 1961, pp. 854-857.

geomagnéticas que han tenido lugar desde el nacimiento de la dorsal. Sólo falta disponer de una tabla geocronológica de las inversiones para conocer la velocidad a que tiene lugar la expansión de las distintas regiones del suelo oceánico. Aclaremos que dicha tabla fue pronto obtenida por diferentes procedimientos que dieron resultados coincidentes.

Publicada en *Nature*<sup>27</sup>, esta propuesta, basada en una inteligente conjunción de datos procedentes de dos campos distintos, la oceanografía y la geofísica, no sólo debilitó la oposición inicial a la idea *geopoética* de Hess, sino que ha quedado como un ejemplo clásico de lo fructíferos que pueden llegar a ser los enfoques transdisciplinares.

- **Tuzo Wilson.** Este geofísico de la Universidad de Toronto fue el primero en concebir las *placas tectónicas* propiamente dichas. Hombre de gran imaginación y capacidad sintética, sin demasiados problemas a la hora de remplazar sus “hipótesis fundamentales de trabajo” si entendía que era necesario (lo hizo dos veces: pasó primero del contraccionismo al expansionismo, y más tarde se convirtió en uno de los padres de la tectónica de placas), Tuzo Wilson anticipó numerosos rasgos y consecuencias de la tectónica global, como muestra la lectura de un artículo que publicó en *Scientific American*, en abril de 1963.<sup>28</sup> Se dio cuenta asimismo de que un fenómeno que se da a escala mundial, como el de la extensión del suelo oceánico a partir de las dorsales, complementada por la “subducción” del mismo en las fosas, exigía una *estructuración global* de la superficie terrestre en conjunto. Para que semejante estructuración resultara concebible era preciso resolver algunos arduos problemas con un pie en la geología y otro en la geometría esférica. Fue enfrentándose a ellos como Wilson logró una interpretación satisfactoria del sistema mundial continuo que forman las dorsales “emisoras” y las mega-fracturas “receptoras”, que incluía una aplicación de su nuevo concepto geológico de *fallas transformantes*, tercer tipo de

---

<sup>27</sup> Vine, F.J. & Matthews, D.H., “Magnetic anomalies over oceanic ridges”, *Nature*, 199, 1963, pp. 947-949.

<sup>28</sup> Wilson, T., “Deriva continental” en Tuzo Wilson (ed.), *Deriva continental y tectónica de placas*, Blume, Madrid, 1974, pp. 45-60.

contacto, ni creador ni destructor de corteza sino meramente deslizante, que completa el modelo.<sup>29</sup>

Tuzo Wilson tenía una lúcida visión transdisciplinar, le interesaba la filosofía, y poseía dotes notables de propagandista. Kuhniano, según su propia confesión, desde que cayó en sus manos *La estructura de las revoluciones científicas*, fue el primero en proclamar que la nueva tectónica global constituía una ejemplificadora revolución de las ciencias de la Tierra<sup>30</sup>, afirmando explícitamente: “¿Es posible un nuevo paradigma? ¿Y si la Tierra fuese realmente móvil? ¿Y si las cuencas oceánicas se hubieran abierto y cerrado en diversas ocasiones? ¿Y si los continentes se estuvieran desplazando lentamente? (...) Me atrevería a sugerir que el principal obstáculo para el progreso de la ciencia de la Tierra fue la doctrina de un planeta esencialmente estático. Considerar que la Tierra es móvil, he aquí el nuevo paradigma necesario.”<sup>31</sup>

Wilson contó con importantes colaboradores, y coordinó sus trabajos con los de los estudiosos (geólogos, físicos, oceanógrafos...) que, en número rápidamente creciente, se mostraban interesados por el *nuevo paradigma global de la Tierra*. Entre éstos hay que destacar a Morgan y McKenzie, pioneros de una matematización del modelo basada en el análisis de los desplazamientos posibles de áreas rígidas sobre una superficie esférica, partiendo de *ejes polares eulerianos* de giro.

#### 4. 3. 2. "Vendas que se caen de los ojos"

Toda esta danza de investigaciones, datos e ideas cristalizó, entre 1966 y 1971, en una concepción nítidamente paradigmática de la estructura y funcionamiento de la Tierra en el orden de la *geodinámica interna*, con repercusiones en superficie. Vale

---

<sup>29</sup> Wilson, T., “A new class of faults and their bearing on continental drift”, *Nature*, 207, 1965, pp. 343-347.

<sup>30</sup> Ver Wilson, T., “Prefacio” en Tuzo Wilson (ed.), *Deriva continental y tectónica de placas*.

<sup>31</sup> Wilson, T., “Revolución en las ciencias de la Tierra”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 1993 (1.2), p. 77.

decir que la inmensa mayoría de los fenómenos causados por fuerzas del interior del globo, tanto si el ritmo de manifestación de los mismos se da a la escala temporal humana (erupciones volcánicas, terremotos...) como si es mucho más lento (orogénias, modificaciones continentales y marinas), pueden ser explicados por el *explanans* que proporciona el modelo geotectónico. Incluso algunos problemas de campos ajenos a la geodinámica interna, como algunos enigmas paleoclimáticos y paleontológico-evolutivos, son aclarados por el mismo.

Aunque no cumpliera, en rigor, todos los requisitos kuhnianos para poder ser considerada paradigmática, no cabe duda de que la concepción *estabilista* de la Tierra constituía, a mediados de siglo, un condicionante fuerte para la mayoría de los geólogos y de otros científicos de áreas afines. Ciertamente no existía entre ellos consenso en relación a no pocos temas, pero todos compartían una *tradición de investigación* que excluía la movilidad continental horizontal, y que provocaba de entrada una considerable resistencia frente a una heterodoxia que incluso era tenida por regresiva, en la medida que implicaba recuperar una “vieja teoría”. Un botón de muestra curioso de lo que se ha llamado la “conversión de la comunidad de los científicos de la Tierra”<sup>32</sup> lo suministra el Observatorio Geofísico Lamont adscrito a la Universidad de Columbia: durante décadas, la postura de este centro hacia el movilismo había sido resueltamente adversa, y su director, Maurice Ewing, era uno de los geólogos más hostiles a los “residuos wegenerianos”. Pero hacia 1965 varios investigadores del Observatorio se pusieron a estudiar las anomalías magnéticas de diversas áreas oceánicas, y llegaron a las mismas conclusiones que Vine y Matthews; es más, sus resultados disiparon las últimas dudas que Vine tenía todavía acerca de que la expansión del suelo marino constituyese la mejor interpretación posible de los bandeados magnéticos simétricos.

El cambio de actitud de casi todos los científicos del Lamont en relación al movilismo fue tan espectacular que un visitante favorable a los desplazamientos

---

<sup>32</sup> Fórmula utilizada por A. Hallam, entre otros (*De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*).



continentales escribió en 1966: “Me sentía como un cristiano que llegase a Roma justo después de la conversión de Constantino”.<sup>33</sup> Dicho cambio no afectó, sin embargo, a Ewing, que seguía sin dar su brazo a torcer en la conferencia sobre el nuevo modelo global, organizada por la NASA en Nueva York, en noviembre de aquel mismo año de 1966, encuentro que consagró -en opinión de diversos estudiosos del tema- la “revolución geotectónica”. El geofísico inglés E. Bullard nos aporta su testimonio personal:

Lo que ocurrió allí fue asombroso. Al reunirnos el primer día, Maurice Ewing vino hacia mí y me dijo con una cierta inquietud: “¿Tú no creerás en todas esas tonterías, verdad Teddy?” Al final de la reunión yo estaba a favor del movimiento continental.<sup>34</sup>

Cuatro años después, uno de los padres del modelo, R.S. Dietz, podía escribir lo siguiente:

La historia de la ciencia está llena de disparatadas hipótesis. La mayor parte de ellas son olvidadas, lo cual es lo mejor que puede suceder, pero de vez en cuando una de ellas se desempolva y pasa a ser una real verdad. Así ocurrió con el concepto de que la Tierra era una esfera girando en el espacio sin sostén alguno. En la actualidad, esto parece ocurrir también con la teoría de la deriva continental, la cual, llevada a sus conclusiones últimas, aboga por el hecho de que todos los continentes estuvieron unidos, formando una sola gran masa denominada Pangea. Este continente universal fue de algún modo roto, y sus fragmentos -los actuales continentes- se han trasladado hasta su presente localización.

Durante los tres últimos años, los geólogos y geofísicos se han visto obligados a abandonar sus viejas ideas dogmáticas respecto a que la corteza terrestre estaba esencialmente fija, para aceptar la "nueva herejía" que la supone en completa movilidad. La idea de que los continentes pueden trasladarse miles de kilómetros en unos pocos cientos de millones de años es hoy día aceptada por todos. La geología se encuentra, pues, en estos momentos, en la misma situación en que se encontró la astronomía en la época de Copérnico y Galileo. Los

---

<sup>33</sup> Se trata del geólogo S. K. Runcorn; cit. por Frankel en *British Journal of History of Science*, 11, 1978, p. 130.

<sup>34</sup> Bullard, E. en *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 3, 1975, p.1.

libros de texto están empezando a ser reelaborados a la luz de este actual punto de vista movilista.<sup>35</sup>

La referencia a Copérnico y Galileo nos hace recordar que, en relación al heliocentrismo, estos dos genios del Renacimiento no fueron innovadores absolutos puesto que, mil ochocientos años antes, Aristarco de Samos ya había propuesto un modelo heliocéntrico. Y este precedente, que se tiende a olvidar, nos devuelve enseguida al modelo del movilismo continental, ya que hubo un Wegener medio siglo antes de la “herejía triunfante” de la tectónica de placas. Es esto lo que mueve a Naomi Oreskes a afirmar que “en la [*senda de la*] historia se hallan esparcidas las creencias de ayer, que fueron arrojadas, y el presente está poblado de resurrecciones epistémicas.”<sup>36</sup>

#### **4. 4. La nueva imagen de la Tierra tras la "revolución" de la tectónica de placas**

Como hemos visto, no está claro que la Tectónica de Placas haya venido a remplazar a alguna otra concepción, claramente formulada y ampliamente consensuada, de la estructura y el funcionamiento *globales* de la Tierra. Simplemente, no parece que hubiese un paradigma anterior generalmente admitido. En lugar de él, encontramos esas múltiples propuestas explicativas en pugna entre sí, con intervalos de hegemonías inestables, que Kuhn considera típicas de una ciencia preparadigmática o, lo que es lo mismo, inmadura. ¿La consagración de la Tectónica de Placas como su primer paradigma, habría supuesto, pues, la maduración de la geología? Muchos lo creen así.

---

<sup>35</sup> Dietz R.S. & Holden J.C., “La disgregación de la Pangea” en *Deriva Continental y tectónica de placas*, p. 114.

<sup>36</sup> Oreskes, N., *The Rejection...*, p. 3.

Pero algunos filósofos de la ciencia han notado un síntoma extraño: el triunfo de lo que debía, lógicamente, haber supuesto una “revolución fundacional” se asoció de alguna manera con el *estallido de la geología* (la “ciencia de la Tierra”), cuyo nombre en singular pasó a ser suplantado por el de unas plurales “ciencias de la Tierra” que dan testimonio de todo lo contrario de lo que se suele entender por consolidación de una ciencia madura. No faltará quien encuentre en la especialización creciente la justificación de este cambio de denominación, restándole consecuentemente importancia. No es así como veo yo las cosas, pues la enorme especialización que se da, por ejemplo, en física, no ha llevado a nadie a proponer que se sustituya su nombre por el de “ciencias de la energía” o “de la realidad fundamental”, y el actual desarrollo espectacular de la biología hace que se hable de “biología molecular” como rama especializada, y no que se proponga una nueva denominación para la disciplina en conjunto. Cabe preguntarse entonces qué anda mal en la geología para que, al madurar, su propio nombre tienda a marginarse.

Mi propia conjetura es que tal vez el *nivel de realidad* (más que el objeto propiamente dicho) sobre el que se enfoca la geología no siempre haya estado bien definido. Esta sugerencia exige aclaraciones. En el capítulo 1, así como en su primer Anexo, me he referido a la *Gestalttheorie*, y quizás convenga que añada ahora algo más. Dice André Dartigues al respecto:

Muy dados a investigaciones experimentales, los filósofos de la Forma han establecido vínculos estrechos entre el dominio de la experimentación y el de la experiencia en sentido fenomenológico. (...) La *forma* es una totalidad estructurada que se define por sí misma y no a partir de los elementos que la componen. El iniciador de la teoría [*de la*] Gestalt, el psicólogo vienés Ehrenfels, pone como ejemplo de lo que llama *cualidad formal*, y que constituye la *forma* [*en el sentido de la teoría*], la invariancia de una melodía cuando se la cambia de tono: para nosotros sigue siendo la misma melodía, hasta el punto que podemos no darnos cuenta del cambio, y sin embargo todos sus elementos han sido alterados. Este ejemplo puede servir igualmente para ilustrar la noción de *estructura*, que se ha definido como “un todo formado por fenómenos solidarios, tales que cada uno depende de los otros, y no puede

ser lo que es sino a través de su relación con ellos” o, más concisamente, como “una entidad autónoma que se funda en interdependencias internas”.<sup>37</sup>

Prosigue Dartigues explicando que para los psicólogos de la Forma las anteriores nociones se aplican tanto a los hechos psíquicos, incluida la percepción, como a los objetos y ámbitos percibidos, pero que serían estos últimos -en tanto que poseedores de estructuras intrínsecas, irreductibles a sus componentes elementales- los que habrían conformado la percepción misma (se entiende que a través del proceso evolutivo natural), y no al revés, marcando así distancias con la fenomenología subjetivista de Husserl. Desde luego, cualquiera puede apreciar un notable paralelismo entre las teorías de la *Gestalt* y de Sistemas.

Pues bien, ¿no es acaso cierto que cada ciencia natural, globalmente considerada (no, claro está, sus campos especializados o de aplicación técnica), se enfoca sobre un *ámbito estructural* o *sistémico* del mundo?, desde el más básico que somos capaces de reconocer (aquel de que se ocupa la física) a los más complejos (probablemente los que estudian la psicología y las demás ciencias humanas). Y si se admite este punto de vista, al menos como hipótesis de trabajo, entonces uno se pregunta sobre qué nivel sistémico se enfocaba la geología clásica, que era totalmente subsidiaria de la física, la química, la cosmología y la biología (en lo que se refiere a la paleontología), y que obviamente no llegaba a definir ningún *nivel estructural del mundo...* Porque una Tierra-escenario no es sino un laboratorio de múltiples procesos cuyo estudio corresponde, en rigor, a otras ciencias.

Pero antes de llevar más lejos estas consideraciones, veamos qué imagen, qué *gestalt*, de la Tierra despliega ante nosotros el paradigma geotectónico.

- Podemos reconocer, de entrada, una *estructura* que no es estática sino dinámica, y que no se refiere únicamente a la capa terrestre superficial (la *litosfera*) sino que tiene raíces

---

<sup>37</sup> Dartigues, A., *Qu'est-ce que la phénoménologie*, E. Privat, Toulouse, 1972, pp. 41-42.

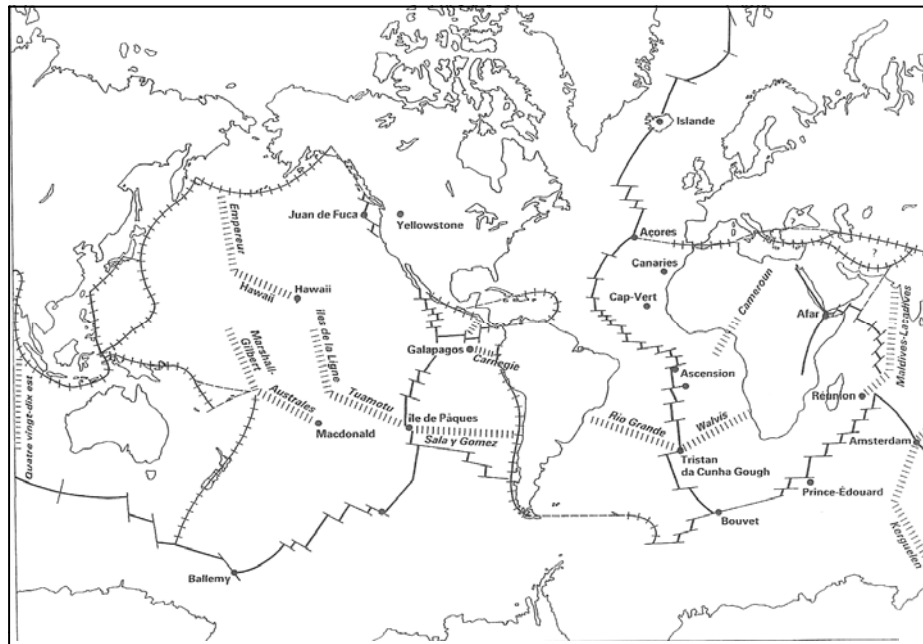


Fig. 16. Placas tectónicas terrestres

más profundas (en sentido literal), las cuales superan la capa inmediatamente subyacente (el *manto*), que es donde reside la causa inmediata (las *corrientes de convección*) de la movilidad horizontal de las placas. Esta estructura es *global*, es decir, no afecta tan sólo a algunas zonas del planeta (por ejemplo, las áreas localizadas en que tienen lugar levantamientos orogénicos) sino a todo él (fig. 16). Implica además la existencia de una serie de elementos (principalmente las *placas tectónicas*) que pueden ser estudiados por separado en algunos aspectos, pero que no son genética ni dinámicamente independientes entre sí, ni tampoco de la Tierra en su conjunto.

- La “revolución geotectónica” ha puesto de relieve el carácter fundamentalmente *dual* de la corteza terrestre: en las áreas que cubren las aguas marinas (y en algunas raras zonas continentales abocadas a ser anegadas) existe *corteza oceánica* densa, basáltica, y en juvenil expansión a partir de cordilleras dorsales; los continentes y grandes islas, por su parte, están formados por *corteza continental* ligera, cristalina en su mayor parte, y muy antigua. El hecho de que existan dos clases completamente diferentes de corteza tiene un reflejo topográfico en la bimodalidad estadística que

presentan las curvas de nivel, o lo que es lo mismo, en la existencia de dos “escalones” en el globo, perfectamente marcados: el correspondiente a las cuencas oceánicas y el que representan los continentes. Esta bimodalidad es una característica singular de la Tierra, aunque no desde luego la única con que cuenta nuestro especialísimo planeta.

- La dinámica global recientemente descubierta implica el desarrollo, de forma continua, de dos procesos complementarios de generación y destrucción de corteza oceánica, que se producen respectivamente en las dorsales y en las zonas de subducción asociadas a las fosas marinas. Sin embargo, las áreas continentales casi no se ven afectadas por estos procesos, sino que se limitan a incrementar su extensión total a lo largo de los tiempos geológicos, estando ligado tal incremento a fenómenos magmáticos que tienen que ver con la subducción. Según esto, la superficie total de los continentes es, en la actualidad, mayor que en cualquier época pasada. Esta consecuencia de la teoría no deja de resultar algo chocante, y convendría volver sobre ella.

- Las cadenas de montañas se forman como resultado de diferentes formas de compresión condicionadas por el movimiento de las placas. Puede tratarse de una compresión intercontinental directa, acompañada normalmente de algo de subducción<sup>38</sup> (Himalaya, Alpes), o puede estar en juego el empuje mantenido de la corteza oceánica al sumergirse bajo un escudo continental, junto con el vulcanismo que este proceso genera (Andes). Es por esta razón que las cordilleras tienen forma lineal. Su situación geográfica, en unos casos (como los citados) nos informa de la dinámica de placas actual, y en otros (montañas escandinavas, Apalaches) da testimonio de dinámicas arcaicas, por así decir fosilizadas.

---

<sup>38</sup> En este caso llega a haber subducción imperfecta de corteza continental. La inmersión se interrumpe pronto, sin embargo, dada la acusada flotabilidad de la corteza continental, y el resultado es una *doble capa* de material granítico, con el engrosamiento y el realce topográfico consiguiente.

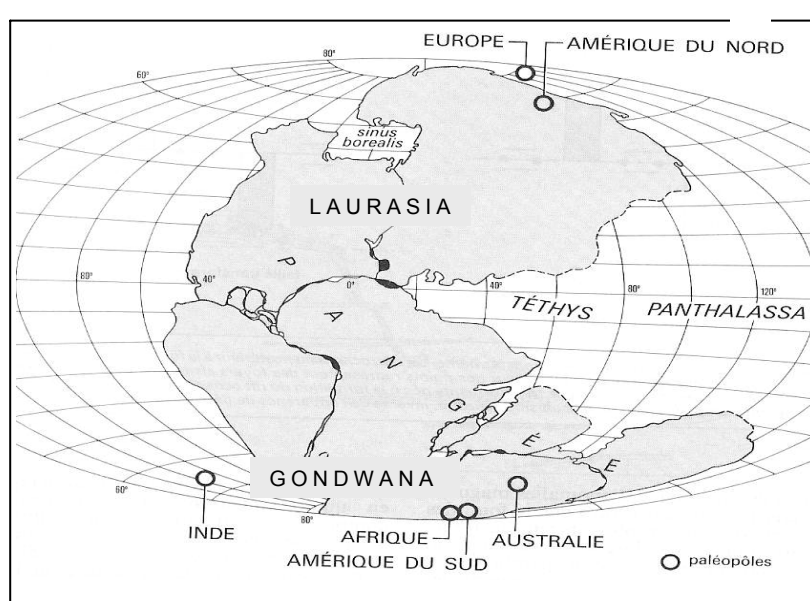


Figura 17. El supercontinente Pangea

- La panorámica temporal (o *histórica* en sentido geológico) que nos presenta la Tectónica de Placas es fascinante: todos los continentes actuales estaban reunidos en uno solo, denominado Pangea, hacia comienzos del Mesozoico, hace alrededor de 250 millones de años (fig. 17). Se produjo primeramente la escisión parcial de este supercontinente en dos grandes masas, una septentrional y la otra meridional, llamadas respectivamente Laurasia y Gondwana, que ya postulaban a principios de siglo los partidarios de la deriva. Más tarde, el Océano Atlántico, inicialmente apenas esbozado, se fue ensanchando mientras se definían los continentes actuales. Entretanto, ocurrían algunos hechos marginales espectaculares, como la deriva aparente<sup>39</sup> del subcontinente indostánico, 4000 km hacia el norte, hasta “chocar” y comprimirse fuertemente contra el escudo eurasiático, dando así nacimiento al Himalaya. Y este proceso no se detiene: actualmente está naciendo una dorsal en el África oriental, de Djibuti a la zona de los Grandes Lagos. Toda esa inmensa depresión volcánica está destinada a transformarse en un brazo de mar, que desgajará del continente una gran isla de tamaño comprendido entre Madagascar y Australia.

<sup>39</sup> Aparente, en efecto, puesto que en el modelo geotectónico los continentes no “navegan” a la deriva, sino que se desplazan unidos a la corteza oceánica en expansión.

¿Y que ocurría en el pasado remoto, antes de la Pangea? Los teóricos de la geotectónica están de acuerdo en que el binomio escisión- separación continental no se ha producido una sola vez, sino que se repite cíclicamente, a consecuencia de la dinámica subcrustal de las corrientes de convección. Es así como ha surgido la noción de un megaciclo continental con el que ni siquiera Wegener se atrevió a soñar: el *ciclo de Wilson*.<sup>40</sup> Los continentes se juntan en uno solo cada 450-500 millones de años aproximadamente, para volver a separarse después a partir de los nuevos rifts y las nuevas dorsales que se forman a causa de la ascensión de corrientes de convección y de las tensiones que provocan en la corteza.<sup>41</sup>

- Las consecuencias climáticas y biológicas de este inmenso latido telúrico unidad / pluralidad son importantes: a mayor concentración de las tierras emergidas, mayor sequedad y aridez en su vasto interior, así como temperaturas más extremas; y también mayor homogeneidad genética de los organismos terrestres, que se ven obligados a coevolucionar en estrecho contacto, desde el momento que todos ellos ocupan un único continente gigantesco. Un megaciclo climático y otro de disminución / aumento de la biodiversidad se establecen, por tanto, a consecuencia del proceso repetitivo de concentración y separación de los continentes.

Podríamos decir que, a partir de la revolución geotectónica, percibimos al fin que *la Tierra se mueve* (para resumirlo todo en una frase muy del gusto de Tuzo Wilson<sup>42</sup>); ya que no sólo lo hace en el espacio, dando vueltas alrededor del Sol, sino que también se mueven sus distintas partes, las unas con respecto a las otras, y no de un modo

---

<sup>40</sup> En honor de Tuzo Wilson.

<sup>41</sup> Ver Murphy, B. & Nance, D., “Las cordilleras de plegamiento y el ciclo supercontinental” en *Investigación y Ciencia*, 189, 1992, pp. 22-30.

<sup>42</sup> “Copérnico liberó el espíritu de los seres humanos, al hacerles percatarse de que la Tierra no era fija, sino que podía moverse en el espacio. ¿No deberíamos nosotros seguir a Wegener y avanzar un paso más, constatando que nuestra doctrina de los continentes fijos es una herencia del pasado, carente de pruebas e inútil? ¿No sería más lógico hacernos a la idea de que el interior de la Tierra ya no tiene por qué ser inmóvil?” (Wilson, T., “Revolución en las ciencias de la Tierra”).



desordenado sino siguiendo pautas regulares. Ahora sí que la Tierra se nos aparece cada vez más como un *sistema autoorganizado*. Y si hay un verdadero sistema, puede y debe haber una ciencia enfocada sobre su estudio, y hablar de *geología* vuelve a tener pleno sentido.

#### **4. 5. Los nuevos enigmas de una Tierra “verdaderamente móvil”**

¿Tuvo siempre la Tierra una estructuración dinámica como la que describe la teoría de las placas tectónicas? ¿Hasta dónde se extiende en profundidad dicha estructura? ¿Por qué existe? ¿Qué condiciones la hacen posible? ¿Está presente únicamente en la Tierra, o es una característica general de los planetas sólidos del sistema solar? He aquí algunas de las preguntas que ha puesto sobre la mesa el nuevo paradigma movilista que se ha impuesto en el último tercio del siglo XX.

Dice Anthony Hallam –y no es el único– que ahora, culminada ya la “revolución geotectónica”, la geología se encuentra en una fase de transición hacia la *ciencia normal*, caracterizada por el desafío de nuevos enigmas –como los que se acaban de formular–, coherentes con la nueva concepción y que pueden, en principio, resolverse en su marco.<sup>43</sup> De hecho, está sucediendo así, *grosso modo*, y es por ello que el propio Hallam, Tuzo Wilson y otros muchos científicos de la Tierra especializados sobre todo en la dinámica endógena, tienen la impresión de que el modelo kuhniano de cambio científico se cumple en este caso punto por punto. Por más que esta lectura algo simplista de la “revolución geotectónica” no deje de solicitar algunas matizaciones, vamos a pasar revista, de entrada, a las respuestas que se esbozan para los cinco interrogantes planteados unas líneas más arriba.

---

<sup>43</sup> Hallam, A., *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*, pp. 147-148.

1. No parece verosímil que placas similares a las actuales hayan existido desde la formación misma de la Tierra: debió haber un período inicial con una dinámica incipiente, distinta de la actual. Acerca de las características de esa etapa, algunos investigadores apuntan a un planeta arcaico con una delgada corteza muy poco rígida que permitía un elevado flujo de calor, a través de la cual se abrían camino numerosas efusiones magmáticas.<sup>44</sup> Así pues, una dinámica de “microplacas” habría precedido a la tectónica actual. Por otra parte, la corteza continental primitiva no era granítica, sino que estaba formada por una roca volcánica ultrabásica llamada *komatiíta*, que sólo se genera a elevada temperatura (1700°C) y que no se produce desde hace 2500 millones de años. Los primeros continentes de tipo actual (de base granítica) debieron empezar a formarse hace alrededor de 2800 m. de a., y los 300 m. de a. (2800-2500) que presidieron el nacimiento de la tectónica de placas fueron extraordinariamente fértiles en lo que a producción de granito se refiere: más de la mitad del que existe en la actualidad se generó entonces.<sup>45</sup>

2. Los científicos de la Tierra asumen hoy que la capa superior del manto forma parte de las placas, siendo todo el espesor de manto que subyace, el sustrato sobre el que tales *placas litosféricas* se mueven, y también –al mismo tiempo– el *motor convectivo* que las hace moverse. Observemos que esta concepción tiende a implicar a capas cada vez más profundas de la Tierra en la geodinámica global. En la misma línea se encuentra la idea, ampliamente difundida, de que existe un “cementerio” de restos subducidos de corteza oceánica en la interfase manto- núcleo externo, la capa activa D´, situada a 2900 km de profundidad, en donde tales restos se reciclan, si bien más lentamente de lo que inicialmente se había estimado.<sup>46</sup>

---

<sup>44</sup> Ver Davies, G.F., “On the emergence of plate tectonics” en *Geology*, 20, 1992, pp. 963-966.

<sup>45</sup> Ver Anguita, F. & Moreno, F., *Procesos Geológicos Internos*, Ed. Rueda, Madrid, 1991, p. 124.

<sup>46</sup> Ver, p. ej., Anguita, F., “La evolución de la Tectónica de Placas: el nuevo interior de la Tierra”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 1996 (3.3), pp. 137-148.

3. La discusión sobre las causas de que una dinámica como la de las placas se despliegue en nuestro globo, nos lleva –ya lo hemos visto– muy lejos: la causa inmediata serían las corrientes de convección, repetidamente evocadas, pero cabe preguntarse qué es lo que provoca esas corrientes, o dicho en otros términos, cuál es la causa remota del movimiento de las placas. La respuesta es, como sabemos, el *calor interno terrestre*, o mejor dicho, la evacuación de dicho calor; una respuesta que resulta de entrada tautológica, teniendo en cuenta que las corrientes de convección no son otra cosa que flujos térmicos de materia, pero que tiene la virtud de recordarnos que el enfriamiento de la Tierra no es un proceso simple y continuo de pérdida de una energía residual, sino que también hay que contar con la producción de más calor, por lo que el globo necesita algún mecanismo –o bien continuo, o bien cíclico– que le permita disipar dicho calor. ¡Sin él, quizás nuestro planeta se hincharía de veras, como un auténtico globo aerostático caldeado por un mechero de gas! Se llega, pues, a una explicación termodinámica de la sorprendente configuración activa que presentan las *geosferas* exteriores. Ahora bien, esta explicación reduce el modelo de la Tectónica de Placas a un caso sencillo de *estructura disipativa global*, corroborando así una vez más la aplicación que encuentra en múltiples dominios la célebre concepción de Ilya Prigogine.

4 y 5. Para que los procesos mecánicos implicados en la dinámica de las placas litosféricas puedan llevarse a cabo, tienen que satisfacerse determinadas condiciones físicas: no sólo hace falta un flujo geotérmico lo suficientemente intenso, sino que además los materiales subsuperficiales tienen que tener la consistencia adecuada para poder fluir y para que resulte posible el sorprendente fenómeno de la subducción, que supone la “muerte” de una placa por penetración-inmersión por debajo de otra. De modo que una tectónica de placas es imposible tanto en un planeta interiormente frío y rígido (es el caso de los demasiado pequeños, como la Luna) como en uno deshidratado, como la misma Luna o el cálido Venus. Y es que actualmente se piensa que la presencia de *agua líquida* posibilita la subducción, debido al cambio de

consistencia y a la disminución de índice de rozamiento que origina en los materiales.<sup>47</sup> No puede descartarse que otro líquido de propiedades físicas no muy distintas (por ejemplo, el metano<sup>48</sup>) pueda jugar el mismo papel, pero en todo caso un proceso como el de la subducción parece exigir algún “lubricante”, y el agua –presente en la Tierra desde su formación, sin que haya faltado jamás– es ideal para este cometido.

#### **4. 6. El “nuevo” interior de la Tierra**

El debate de la deriva continental –al menos en vida de Wegener– estuvo muy focalizado sobre la superficie terrestre. Fue, en efecto, un debate “en dos dimensiones”, en el que se contraponían visiones formales (¿o “formas visuales”?) del globo terráqueo, y se barajaban pruebas y contrapruebas empíricas para apoyar las diferentes alternativas, pero en el que se echaba en falta una hipótesis “de profundidad” que propusiera una *causa unificadora* del “objeto Tierra” como sistema<sup>49</sup>, tuviera o no continentes móviles; y esa falta corría pareja con la escasez de referencias al interior del globo. No es que este último no hubiese sido, desde antiguo, objeto del más vivo interés (recordemos la abigarrada imaginería telúrica de los siglos XVII y XVIII), pero la preocupación científica por los datos contrastables redujo al mínimo, desde comienzos

---

<sup>47</sup> Ver Hirth G. & Kohlstedt, D.L., “Water in the oceanic upper mantle: implications for rheology, melt extraction and the evolution of the lithosphere”, *Earth Planet, Sci. Lett.*, 144, 1996, pp. 93-108.

<sup>48</sup> La sonda euro-americana Cassini-Huygens se encuentra actualmente (año 2003) camino del sistema de Saturno para tratar de aclarar el enigma del posible océano de metano líquido de Titán, el mayor satélite (5 150 km de diámetro) del planeta de los grandes anillos.

<sup>49</sup> El propio Wegener, con una mezcla de lucidez y modestia, se dio perfecta cuenta de esto cuando dijo: “Aun no ha aparecido el Newton de la teoría de los desplazamientos” (*Origen...*, p. 151).

del siglo XIX, una modelización que aparecía como esencialmente especulativa dado el carácter inaccesible del interior de la Tierra.

#### 4. 6. 1. Las tres geosferas clásicas

El desarrollo de la sismografía a partir de 1890 permitió, no obstante, “asomarse” de nuevo al interior de la Tierra. La posibilidad de transmisión, y las variaciones de velocidad, de las ondas sísmicas constituyeron el primer criterio para delimitar las grandes unidades verticales o *geosferas* del globo. “Corteza”, “manto” y “núcleo” pasaron a ser nociones familiares, no sólo para los geólogos y los geofísicos, sino también para los escolares, desde las primeras décadas del siglo XX. Recordemos brevemente las características y los límites de estas unidades.

1. La **corteza terrestre**. No habría, en rigor, que hablar de corteza sino de cortezas, puesto que hay dos completamente distintas: la *oceánica* y la *continental*. La primera (que cubre unos dos tercios de la superficie terrestre) tiene unos 10 km de grosor, es de composición basáltica (pobre en sílice) y tiene una triple estratificación horizontal bastante bien definida; al *nacer* en las dorsales, y *morir* –tras un limitado “curso vital” submarino– en las zonas de subducción, no supera los 180 millones de años de antigüedad en ningún punto. La segunda (que se extiende sobre el 30 ó 35 % del globo) es mucho más caótica y variopinta: comprende rocas plutónicas (consolidadas en profundidad), metamórficas y volcánicas, de neto predominio composicional granítico o andesítico (con alta riqueza en sílice), pero sin que falten por completo las rocas basálticas. Más ligera (densidad media: 2,7 g/cc) que la oceánica (3,0 g/cc), y de mayor espesor (35 km por término medio), en la corteza continental están representadas todas las épocas de la historia de la Tierra, hasta las más remotas. Ambas cortezas comparten, no obstante, la propiedad de ser quebradizas y elásticas, es decir *rígidas*, por lo que transmiten con facilidad tanto las ondas **P** (de compresión, longitudinales) como las **S** (de oscilación, transversales) que generan los seísmos. La rigidez de la corteza continental es, de todos modos, más pronunciada.

2. El **manto**. Separada de ambas cortezas por la *discontinuidad de Mohorovicic* (el “Moho”), y hasta los 2 900 km de profundidad, se encuentra la geosfera que comprende la mayor parte del volumen de la Tierra. Se trata del manto, formado por rocas ultrabásicas (con elevados porcentajes de Mg y Fe) cuya composición mineralógica consiste principalmente en olivino y piroxenos, lo que eleva la densidad de esta zona a unos 5 g/cc por término medio, incrementándose con la profundidad. Las *peridotitas*, nombre que reciben las rocas en cuestión, son agregados cristalinos, capaces por tanto de transmitir los dos tipos de ondas sísmicas, P y S, a velocidades mayores incluso que la corteza.

Pese a su rigidez global, las rocas del manto fluyen a la escala inmensa del tiempo geológico, y también –con mayor facilidad– zonal o localmente, en las condiciones de elevada temperatura a que se encuentran.

3. El **núcleo**. A 2900 km de profundidad se detecta una brusca modificación en la transmisión de las ondas sísmicas: las ondas P se ralentizan y las S dejan de propagarse. Cruzamos la discontinuidad de Gutenberg que separa el manto del núcleo terrestre. La densidad de conjunto de la Tierra (5,54 g/cc), junto a determinadas consideraciones planetológicas que se expondrán más adelante, conducen a apostar por un núcleo de hierro metálico (Fe), conteniendo probablemente cantidades apreciables de azufre (S) y quizá de níquel (Ni), que se encuentra completamente fundido salvo en su zona central (el *núcleo interno*), y que posee una densidad comprendida entre 10 y 15 g/cc que aumenta con la profundidad.

#### **4. 6. 2. Complicación estructural del modelo de las geosferas**

Este esquema del interior de la Tierra, de apariencia sencilla y anterior de hecho a la tectónica de placas, esconde otro detallado de mucha mayor complicación, que los científicos de la Tierra han desarrollado en las últimas décadas contando ya con la nueva visión de la dinámica de las capas exteriores. Dicho modelo se orienta a

globalizar la tecto-dinámica terrestre, no sólo sobre la superficie del planeta, sino también hacia su interior, tendiendo a tomar en consideración cada vez más todo el volumen del cuerpo. En el horizonte se perfila una geología dinámica unificada, de la que la “tectónica de placas” sería sólo un aspecto parcial aunque importante.

De entrada, las propiedades mecánicas de la corteza y del manto quedan considerablemente matizadas, y ello hace aparecer nuevas unidades y elimina también, probablemente, alguna. La capa basal de la corteza continental, en la que el cuarzo y los feldespatos se hallan próximos a su punto de fusión, es relativamente dúctil, lo que la convierte en una *capa de despegue* presente entre dos geosferas de elevada rigidez: la parte superficial de la corteza y el manto superior. En cuanto a este último, durante largo tiempo se ha pensado que existía en él, a profundidad variable, una zona de baja velocidad de transmisión sísmica, que se identificaba con la astenósfera, la célebre capa fluyente que permitiría los reajustes isostáticos en la vertical, y que asimismo posibilitaría los desplazamientos horizontales de las placas. Sin embargo, esta capa no podría, en ningún caso, ser muy gruesa ni, sobre todo, regular, hasta el punto de que su espesor pasaría de 250 km (de los 50 a los 300 de profundidad) bajo las dorsales oceánicas, a nulo por debajo de ciertas zonas continentales muy estables. Dicho en otros términos, la astenósfera no podría ser una geosfera continua. Es evidente que las corrientes de convección que, se supone, mueven las placas, no podrían funcionar –y ni tan siquiera existir– en el interior de una astenósfera delgada y discontinua, como se llegó a mantener, contra toda lógica, en los años 70 y 80. La única explicación alternativa que queda es que dichas corrientes se desarrollen gracias al comportamiento fluido a larguísimo plazo de la totalidad del manto terrestre. Su naturaleza cristalina no puede ser un verdadero obstáculo para tal comportamiento, pues las propiedades mecánicas de un agregado de sus características físicas (que comprenden alta temperatura y presión) pueden variar sustancialmente según la escala temporal que se considere. Se ha citado ya el ejemplo de los glaciares.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> En relación a la crítica actual de la astenósfera, ver Anguita, F., “La evolución de la tectónica de placas: el nuevo interior de la Tierra”. Ver también, del mismo autor, “Adiós a la astenósfera”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 2002 (10.2), pp.134-143.

Pero, sea como sea, el manto tampoco es homogéneo: a 650-670 km de profundidad encontramos una segunda discontinuidad distinguible por un aumento de la velocidad de las ondas sísmicas de ambos tipos. Al parecer, a la temperatura y presión que se instala a esa profundidad –que, como vemos, es ligeramente variable–, los minerales constitutivos de las rocas peridotíticas dejan de ser estables, produciéndose una importante transición cristal-química. La densidad y la rigidez aumentan de manera brusca, y pasamos del *manto superior* al *inferior*.

Conviene reiterar lo dicho ya anteriormente: las placas móviles no están formadas únicamente de corteza (continental u oceánica), sino de ésta (de uno y otro tipo) formando cuerpo con la capa superior del manto. Es por ello que se habla de *placas litosféricas* y no de “placas corticales”. Pero es preciso reconocer asimismo que la crisis de la concepción de la astenósfera como capa fluida continua, junto con la elevada rigidez que se le reconoce al manto por debajo de los 300 km, y más aun por debajo del límite de los 650-670 km, siguen creando problemas de geodinámica que distan mucho de estar resueltos. Creo, por mi parte, que sólo el factor tiempo, con la relativización que introduce en la noción de “rigidez”, es capaz de sacar a las placas móviles del atolladero.<sup>51</sup>

La interfase manto-núcleo es uno de los niveles más complejos y dinámicos del globo. Su relación con la tectónica de placas instalada en la superficie de la Tierra aparece cada vez mayor, y de ello se tratará en el subapartado siguiente. Baste ahora con adelantar que se trata de un nivel de espesor variable, con una complicada *topografía* intratelúrica y una no menos compleja *tomografía* (descripción y representación de la temperatura, por zonas), que es al mismo tiempo la base de que

---

<sup>51</sup> La defensa un tanto numantina de la indefendible astenósfera, puesta de relieve por Francisco Anguita entre otros, me hace reflexionar: ¿no será que algunos científicos de la Tierra (quizá en primer lugar algunos geofísicos) tienen problemas con esa consideración del carácter fundamental del *factor tiempo* con la que, sin embargo, deberían estar más que familiarizados? Porque da la impresión (y esto viene de muy atrás: de los críticos de la convección de hace cien años) que se está pidiendo *ver fluir*, o poco menos, los materiales subcorticales para entender el mecanismo del desplazamiento de las placas. Quizá se tiende a no confiar más que en lo estrictamente reproducible en el laboratorio, y el factor tiempo no puede –por su propia esencia– comprimirse.



parten columnas convectivas calientes ascendentes, y el “suelo” al que van a parar residuos fríos procedentes de las geosferas superficiales que intervienen directamente en la tectónica de placas. Esta capa D’’, como se la conoce actualmente, separa dos geosferas completamente diferentes, como son el manto inferior, sólido, de consistencia rígida, composición silicatada, y densidad próxima a 6 g/cc, y el núcleo externo, fundido –y pastoso, por tanto–, de composición férrica y densidad en torno a 9,5 g/cc. El empuje de Arquímedes impide absolutamente penetrar en el núcleo externo –por dúctil que éste sea– a cualquier material más rígido, pero mucho menos denso, que se apoye sobre él, y una consecuencia de esta notabilísima heterogeneidad es el carácter extremadamente dinámico que presenta esta interfase. Dado que en el seno del núcleo no suele reconocerse otra discontinuidad que la –situada a 5000 – 5200 km de profundidad– que separa el *núcleo externo*, fundido, del *núcleo interno*, sólido y cristalino, podría suponerse que la complejidad del núcleo es menor que la del manto (sobre todo incluyendo en él la capa D’’) y que menores son también, por tanto, los enigmas que esconde. Pero me parece que se equivocaría el que pensara tal cosa. Aunque aquí apenas vamos a entrar en la cuestión de la génesis del campo magnético terrestre, lo cierto es que casi todos los modelos que se han propuesto la sitúan en el juego, dinámico y electrodinámico, establecido entre las dos zonas del núcleo. Incluso se ha especulado recientemente con la posibilidad de una rotación libre del núcleo interno con respecto al núcleo externo y a las geosferas superiores, como si la bola sólida y densa, de 1150 km de radio, que ocupa el centro de la Tierra, fuese una especie de planeta intratelúrico. El período de rotación del núcleo interno no sería, en principio, demasiado largo: entre 100 y 500 años; y semejante movilidad podría explicar la electrodinámica generadora del campo magnético terrestre.<sup>52</sup> Señalemos que esta hipótesis –que contaría, en principio, con “pruebas” basadas en el comportamiento anisótropo del hierro cristalizado de cara a la transmisión de ondas sísmicas– no ha sido aceptada, ni mucho menos, por todos. De hecho, nuevos análisis publicados a partir de

---

<sup>52</sup> Ver Dziewonski & Jeanloz, “Planet within a planet: rotation of the inner core of the Earth”, *Nature*, 274, 1996, pp. 1883-1887.

1998, tienden a refutarla.<sup>53</sup> Aun así, su planteamiento mismo pone de relieve que el interior profundo del globo –el *centro de la Tierra*– puede ser un dominio más de la complejidad planetaria, aparte de seguir siendo, en todo caso, un *topos* privilegiado de despliegue de *gestalten*, de imágenes telúricas de fuerte pregnancia significativa y simbólica.<sup>54</sup>

#### 4. 6. 3. Hacia una geodinámica interna en tres dimensiones

¿Se seguirá hablando dentro de unos cuantos años de “tectónica de placas”? Encuentro más plausible que se hable de *tectónica* o –por qué no– de *geología* global. En efecto, la tectónica de placas se está desarrollando, cada vez más, “hacia abajo”, y los estudios sobre la subducción –la penetración de las placas oceánicas por debajo de los zócalos continentales– son seguramente los que más contribuyen a ello. ¿Hasta qué profundidad se sumergen las “losas” subducidas? ¿Qué fenómenos acompañan a su “digestión” por el manto? ¿Cuánto dura ésta? ¿O acaso ni siquiera llega a completarse? La visión que se tiene, hoy por hoy, del fenómeno de la subducción –y de la post-subducción– es fascinante: el “tapiz deslizante” de suelo oceánico, frío y cargado de los sedimentos empapados que se han ido depositando sobre él a lo largo de millones de años, se ve forzado a seguir, por un efecto de arrastre directo –como el de los vagones que siguen a la locomotora–, a la delantera de la placa en su penetración e inmersión profunda en el manto. Este último proceso no es sencillo: bajo la mole continental, de densidad menor que la corteza oceánica, no presenta mayores problemas, pero otra cosa es el descenso a través del manto, cuya densidad más elevada debe implicar un empuje de Arquímedes positivo, capaz –en principio– de reflotar la losa oceánica en vías de subducción. Cambios químicos y estructurales, no del todo bien comprendidos todavía,

---

<sup>53</sup> Ver, por ejemplo: Laske, G. & Masters, G., “Limits of differential rotation of the inner core from an analysis of the Earth’s free oscillations”, *Nature*, 402, 1999, pp. 66-69.

<sup>54</sup> O también un espacio idóneo para el retorno de viejas imágenes. Porque el “planeta intratelúrico” propuesto en 1996, resucitaba, de algún modo, el modelo de Halley (ver capítulo 2).

se pondrían en juego para permitir la continuidad del proceso. Tengamos siempre presente, de todos modos, la extrema lentitud del mismo, que no excluye por lo demás la acumulación puntual de tensiones mecánicas y su descarga en avances bruscos e intermitentes, origen de terremotos cuyos focos –de profundidad diversa– se encuentran emplazados sobre el contacto –más o menos inclinado– entre la placa subduciente y el material encajante, conocido como *plano de Benioff*. Además, la fricción produce calor; el cual, sumándose a la elevación térmica que es función de la profundidad, desencadena reacciones químicas que originan nuevos productos magmáticos que no son simples fundidos de la roca encajante o de la placa que se sumerge; se trata de los *magmas andesíticos*, ácidos o, lo que es lo mismo, de composición granítica, característicos de las cadenas montañosas de borde continental, como la cordillera andina. Es así como los continentes se ensanchan en el transcurso de los tiempos geológicos, uno de los aspectos más curiosos que prevé la teoría.

Las orlas volcánicas que se encuentran sobre las zonas de subducción no sólo eyectan lava: también expulsan a la atmósfera cantidades ingentes de CO<sub>2</sub>, vapor de agua y otros productos volátiles. *En nuestro planeta, el ciclo del carbono pasa, pues, por la subducción*. O, lo que es lo mismo, por la tectónica de placas. He aquí un nítido eslabón entre el presente capítulo y el siguiente, en el que se aborda la concepción geofisiológica de Gaia.

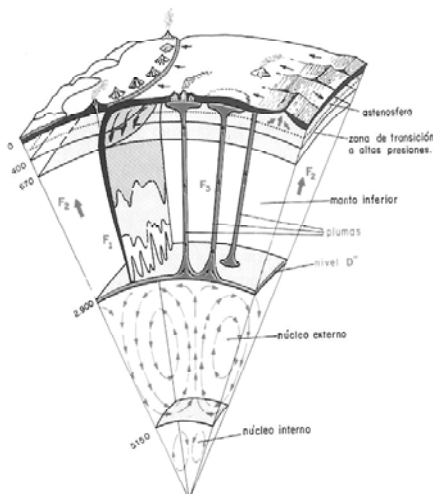


Figura 18

Sección del interior de la Tierra, según la actual teoría geodinámica

Pero antes, echemos un vistazo a las figuras 18 y 19 que resumen visualmente las ideas actuales sobre el interior de la Tierra. En ellas, los supuestos flujos convectivos del manto aparecen bastante confusos, pero se ven, en cambio (fig. 18), líneas de convección en los núcleos externo e interno (aunque una teoría alternativa es la ya reseñada de la rotación diferencial del núcleo interno). Los focos frío y caliente, imprescindibles para que una máquina térmica funcione, no son otros que la

*superficie terrestre* y el *núcleo*: la superficie irradia calor, lo que enfría la litosfera; en cuanto al núcleo, constituye el gran fondo de reserva de la energía acrecional residual, y puede, además, incrementar su temperatura por otras causas (radiactividad, procesos exotérmicos de cristalización o recristalización del núcleo interno...<sup>55</sup>). El manto parece hacer fundamentalmente de medio transmisor en la vertical, entre dos regiones en las que se desarrollan espectaculares dinámicas horizontales: la superficie (e. d., la litosfera) y la capa D'', es decir la interfase manto-núcleo. Al parecer, enormes losas subducidas de litosfera oceánica alcanzan esa interfase, y allí se acumulan localmente, constituyendo extensas y gruesas (10-15 km de espesor) áreas frías que Deparis y Legros, recogiendo un esquema propuesto originalmente por D.S. Stacey, denominan *cripto-continentes* (fig. 19). Desplazamientos laterales (es decir, "horizontales") de esas masas tendrían lugar con extrema lentitud; y procesos de transformación química y de calentamiento (por un núcleo externo inmediatamente subyacente que está, a su vez, desigualmente caliente, y que es, además, convectivo) condicionarían la aparición de puntos a temperatura elevada en ciertas áreas que los autores franceses recién citados llaman, siguiendo siempre a Stacey, *cripto-océanos*.<sup>56</sup> Desde esas áreas se elevan pe-

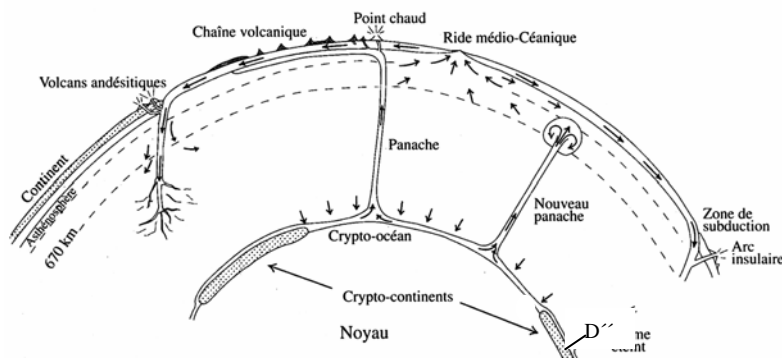


Figura 19. Corte del interior del Tierra, según Stacey

<sup>55</sup> Hoy se cree que la cristalización del núcleo interno se produjo tardíamente; quizá hace sólo unos 1000 millones de años.

<sup>56</sup> Stacey, D.S., *Physics of the Earth*, Brookfield Press, Queensland, 1992; cit por Deparis, V. & Legros, H., p. 560.

nachos convectivos (llamados también “plumas”) que, después de atravesar las diferentes capas y discontinuidades del manto y de la litosfera, alcanzan la superficie, dando origen a volcanes de un tipo especial, no ligados directamente a la tectónica de placas, pero, como vemos, sí indirectamente. Son las efusiones *de punto caliente*, que pueden encontrarse lejos de los límites entre placas, o también, casualmente, sobre alguno de ellos, reforzando cuantitativamente y modificando cualitativamente el magmatismo, como sucede, al parecer, en el caso particular de Islandia.

#### **4. 7. Geología y planetología**

##### **4. 7. 1. La generalización de la geología, horizonte disciplinario**

El desarrollo de la exploración espacial mediante sondas teledirigidas, en las últimas cuatro décadas, ha posibilitado el nacimiento de una nueva rama científica: la *planetología*, cuyo objetivo es el conocimiento detallado de las características y de los procesos formativos y evolutivos de los planetas, sus satélites y los cuerpos menores (asteroides y cometas). Cuando se enfoca sobre astros sólidos cuya talla está en el orden de magnitud de la Tierra, como Marte, la planetología se sitúa más cerca de la geología que de la astronomía. Es más, se podría decir que se trata de una disciplina nacida con la vocación de ofrecer un marco para la definición de una “ciencia de los objetos planetarios” en la que la geología terrestre está llamada a integrarse. Uno de los aspectos problemáticos de la geología, que dificultaba el considerarla como una ciencia natural del mismo rango que las otras, tenía que ver con el carácter *único y particular* de su objeto de estudio. Este particularismo no casa bien con la vocación de generalidad propia de la ciencia, y pienso que fue uno de los factores que propiciaron la

paradoja –puesta de relieve por Tuzo Wilson<sup>57</sup>– de la *redefinición fáctica* de la geología, que, de ciencia de la Tierra (el objeto único en cuestión), pasó a ser cada vez más ciencia de los objetos y estructuras locales presentes en la Tierra *vista más como mero ámbito*, en tanto que la visión global tendía a volatilizarse. Tal fue, en efecto, la tendencia dominante durante el siglo XIX y gran parte del XX, en buena medida como reacción “minimalista” y positivista a la explosión *imaginal* de teorías especulativas de la Tierra que se registró a lo largo de los dos siglos anteriores; una tendencia a la que se opuso Wegener, sin éxito, y que acabó por revertir la “revolución de la tectónica de placas”. Pero es la nueva posibilidad de elaborar modelos contrastables de los otros planetas “terrestres”<sup>58</sup> lo que está permitiendo por primera vez orientarse de veras hacia una generalización de la geología. La misma podría ser entendida como *la ciencia de las macroestructuras planetarias en que predomina el estado sólido*.<sup>59</sup> Y añadiría que la palabra “estructura” tiene aquí connotaciones sistémicas, ya que a partir de un cierto orden de magnitud que no es fácil fijar *a priori*, la materia deja de formar simples agregados y tiende a adquirir modos de organización complejos como consecuencia de los procesos termodinámicos autoorganizativos, directamente condicionados por los efectos energéticos de la gravitación, que se ponen en marcha. Es, pues, el hecho de poder comparar los distintos planetas terrestres y sus diferentes modos de estructuración “dinamo-térmica” lo que nos permite hablar de una auténtica generalización de la geología y, por ende, de su confirmación implícita como una ciencia de la naturaleza que cubre un rango sistémico específico.

---

<sup>57</sup> Ver Wilson, T., “Revolución en las ciencias de la Tierra”, pp. 73-74.

<sup>58</sup> A los *planetas terrestres*, sólidos, rocosos y de dimensiones del orden de magnitud de la Tierra, se contraponen los cuatro *planetas jovianos* (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), “gigantes gaseosos”.

<sup>59</sup> Ciertas revistas científicas, como *Earth and Planetary Science Letters* (Elsevier Publ., Amsterdam / Londres / Nueva York), constituyen un expresivo testimonio de este enfoque disciplinar.

#### 4. 7. 2. La tectónica de los planetas terrestres: diversidad actual y modelización evolutiva

La inspección de las formas del relieve, la distribución de los volcanes, etc., sugiere que no existe actualmente una dinámica global como la tectónica de placas terrestre, en ningún otro cuerpo del sistema solar. Esta constatación no excluye la posibilidad de que formas de tectónica global análogas, o aun idénticas, a la tectónica de placas instalada en la Tierra desde remotos tiempos, puedan haber existido también en los planetas de órbitas vecinas a la del sistema Tierra-Luna, en la etapa inicial de la evolución planetaria, o incluso posteriormente. Tal posibilidad no existe prácticamente para los planetas terrestres excesivamente pequeños –la Luna y Mercurio en concreto–, en los que ha debido tener lugar un enfriamiento exponencial, con sólo grandes efusiones locales de lava favorecidas por grandes impactos meteoríticos como hitos dignos de mención correspondientes a los primeros mil millones de años de su historia.<sup>60</sup> Pero los casos de Venus y de Marte son más complejos, y merecen que se les dedique un mayor espacio aunque sólo sea porque los modelos que se han elaborado de sus respectivas evoluciones tectónicas, por poco fiables que sean –en tanto que expresión de tanteos hechos disponiendo de datos insuficientes–, no dejan de proyectar luz sobre nuestro propio planeta. Veámoslos por separado.

VENUS. Algunas alineaciones montañosas y de accidentes tectónicos parecen indicar que en Venus pudo desplegarse alguna vez una tectónica de placas. No obstante, el carácter excepcional de esas alineaciones excluye la presencia actual de tal dinámica. Pero lo que llama, sobre todo, la atención en el segundo planeta del sistema solar son dos rasgos muy particulares: el primero es su densa atmósfera (más de 90 bars de presión, 97% de CO<sub>2</sub>) que produce un fortísimo efecto invernadero cuyo resultado es el mantenimiento de una temperatura superficial homogénea de 470°C; el segundo lo constituyen las evidencias de un episodio magmático-volcánico generalizado, de gran intensidad, que tuvo lugar entre 500 y 800 millones de años atrás, y que renovó

---

<sup>60</sup> Tal es especialmente el caso de los “mares” lunares.

totalmente la superficie del planeta.<sup>61</sup> Este segundo rasgo basta para desmontar la idea de un enfriamiento exponencial continuo en el caso de Venus. Las llamativas evidencias del macroepisodio magmático venusiano, sobrevenido en época tardía (ya que la edad de los planetas se cifra en unos 4500 millones de años), indican que un importante recalentamiento interno debió tener lugar, provocándolo. ¿Y a qué pudo deberse? Una explicación verosímil es que al interrumpirse la tectónica de placas venusiana, la cual constituía un eficaz “termostato” que disipaba regularmente un calor interno que era, en parte, de origen radiactivo como en la Tierra, éste se acumuló hasta que, en un momento dado, el planeta “estalló”, metafóricamente hablando, originándose masivas y caóticas efusiones volcánicas que afectaron a toda su superficie. ¿Es demasiado aventurado suponer que este macroepisodio volcánico pudo contribuir a densificar la atmósfera de Venus, induciendo un notable incremento de su temperatura superficial debido a un aumento brutal del efecto invernadero? El final de su etapa “con tectónica de placas” habría podido, pues, tener como efecto, para Venus, el alejarle todavía más de las condiciones que hacen a un planeta apto para sostener una biosfera.

El cierre de una supuesta “ventana” temporal, relativamente reciente, de tectónica de placas no es, de todos modos, la única explicación posible de la enigmática macroefusión volcánica que se produjo en Venus. Otra sería la instalación en el vecino globo de un mecanismo disipativo periódico muy diferente del terrestre, y tal vez análogo al concebido por Joly para nuestro propio planeta (ver 4.1.3.).

Vemos en todo caso, a partir del ejemplo de Venus, que no sólo el excesivo enfriamiento de las capas externas da como resultado unos planetas sin tectónica de placas. El mismo efecto produce una temperatura demasiado alta, y ello por dos motivos, concomitantes o no: 1. ausencia de agua (o fase líquida equivalente) que haga de lubricante de la subducción; 2. transformación, en profundidad, del basalto en granulita (ligera) en vez de en eclogita (densa), lo cual puede impedir que se inicie la

---

<sup>61</sup> Ver Herrick, R.R., “Resurfacing history of Venus”.



subducción, al no producirse “tirón” cortical alguno hacia abajo en aquellos puntos en los que la eclogita tendería a hundirse, caso de haberse formado.<sup>62</sup>

MARTE. En los terrenos antiguos del hemisferio sur de Marte se han creído detectar lo que podrían ser tenues restos de anomalías magnéticas análogas a las existentes en nuestras áreas oceánicas, lo que abriría la posibilidad de que, en un pasado remoto, el Planeta Rojo hubiera conocido una fase dinámica de tipo terrestre.<sup>63</sup> Aclaremos de entrada que esa detección está siendo fuertemente cuestionada, al igual que la coherencia misma del dato, ya que resulta muy difícil de entender la presencia de huellas de “extensión de suelo oceánico” en un terreno arcaico y cubierto de cráteres de impacto, testigos de su estabilidad desde los primeros tiempos de la historia del planeta. Mayor lógica –aunque no pruebas en su apoyo– tiene la hipótesis de Sleep (1994) de una posible tectónica de placas antigua, que se encontraría fosilizada bajo los aparentes<sup>64</sup> sedimentos que recubren las llanuras del tercio norte de Marte, sugiriendo un paleo-océano que, al menos en la zona que supuestamente ocupaba, habría permitido el desarrollo de un régimen tectónico parecido al terrestre actual. De todos modos, la litología de la superficie de Marte es paradójica y no favorece la hipótesis de una paleotectónica de placas: “Las rocas de los terrenos altos –dice Francisco Anguita– parecen basaltos, mientras que las de las zonas bajas parecen más ricas en sílice: es como si granitos y basaltos –los representantes típicos respectivos de las cortezas continental y oceánica de la Tierra– estuviesen cambiados en Marte.”<sup>65</sup> En lo que se

---

<sup>62</sup> Ver Anderson, D.L., “The Earth as a planet: Paradigms and paradoxes”, *Science*, 223, 1984; cit. por Anguita, F. & Arsuaga, J.L., “¿Es Gaia una teoría adelantada a su tiempo o una broma vitalista?” en *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 2000 (8.3), p. 199. Sobre las condiciones del inicio de la tectónica de placas, ver Davies, G.F., “On the emergence of plate tectonics”.

<sup>63</sup> Ver Rème, H, “Marte: ¿vestigios de una tectónica?” en *Mundo Científico*, 206, 1999, pp. 26-29.

<sup>64</sup> “Aparentes”, a falta aun (2003) de confirmación, que se espera obtener a corto plazo (o alternativamente, evidencias en sentido contrario), gracias a la exploración en curso mediante naves no tripuladas, con o sin módulos de descenso.

<sup>65</sup> Anguita, F. *et al.*, “El extraño campo magnético de Marte”, en *Mundo Científico*, 232, 2002, pp. 42-43.

refiere al vulcanismo, ha sido extremadamente activo en Marte, planeta que presenta los mayores edificios volcánicos del sistema solar, e incluso es posible que no haya cesado, pero la distribución de los volcanes, que raramente aparecen alineados, no permite deducir que una tectónica de placas haya existido en algún momento en el pasado del planeta.

Como vemos, todo apunta a que la tectónica de placas es *actualmente* un rasgo exclusivo de la Tierra, en el sistema solar. Al igual que lo es la existencia de una biosfera (y en los próximos capítulos se explorará una posible relación entre ambas señas de identidad terrestres). Por lo que se refiere a la eventualidad de la existencia, en el pasado, de regímenes dinámicos globales del tipo de la tectónica de placas, en Venus o en Marte, es de notar que semejante posibilidad es mayor –de acuerdo a lo que hoy sabemos– en el caso de Venus, lo que no deja de ser coherente habida cuenta de su mayor tamaño<sup>66</sup> y capacidad, por tanto, de almacenar calor. De todos modos, no puede desestimarse la opinión de Kent Condie, según el cual en el proceso de enfriamiento (continuo, según él) de los planetas terrestres, existe una “ventana” temporal en la que un régimen de tectónica de placas debe necesariamente establecerse.<sup>67</sup> Sería como en el experimento clásico de Bénard, hecho al revés: en el curso del enfriamiento de un líquido inicialmente hirviente, se supone que, al disminuir el calor bajo el recipiente, aparecen células convectivas organizadas en un momento dado, las cuales duran un cierto tiempo mientras prosigue el enfriamiento. Este modelo, que se puede calificar de neodireccionalista, vuelve a subvalorar el papel del calentamiento radiactivo, suponiendo que, una vez dejada atrás la “ventana de tectónica de placas”, el enfriamiento prosigue, sin más. Pero los casos reales son más complejos: está el macroepisodio volcánico “reciente” de Venus<sup>68</sup>, está también la persistente actividad

---

<sup>66</sup> Diámetro de Venus: 12 104 km; diámetro de la Tierra: 12 756 km; diámetro de Marte: 6794 km.

<sup>67</sup> Kent Condie en *Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol.*, 75, 1989, p. 57.

<sup>68</sup> Ver Anguita *et al.*, “El extraño campo magnético de Marte”. Ver también: 1) Nimmo, F. & Stevenson, D.J. en *Journal of Geophysical Research*, 105, 2000, p. 11969; 2) Stevenson, D.J. en *Nature*, 412, 2001, p. 214 (citados en su artículo por Anguita, F. *et al.*).

volcánica y tectónica de Marte, y –habría que añadir– está desde luego la extraordinaria duración de la tectónica de placas terrestre, instalada desde hace alrededor de 2500 millones de años sin que dé muestras de agotamiento. Sea como fuere, la asombrosa vigencia temporal de esta estructura disipativa global, en el caso de la Tierra, bastaría para singularizar a un planeta como el nuestro, que presenta, por lo demás, demasiadas –y demasiado asombrosas– excepciones como para no sospechar que existe algún nexo entre ellas.

#### **4. 7. 3. Los meteoritos y el interior de la Tierra**

Desde hace mucho, se ha observado que los meteoritos que penetran en nuestra atmósfera presentan una heterogeneidad característica. *Grosso modo*, se clasifican en METEORITOS CARBONACEOS, METEORITOS SILICATADOS (rocosos), SIDEROLITOS (de hierro metálico y roca) y SIDERITOS (de hierro exclusivamente). Esta sorprendente disimilitud plantea con acuidad el problema de su origen: ¿son objetos *primarios*, arcaicos, restos de la nebulosa primordial del sistema solar, o bien se trata de objetos *secundarios*, esquirlas de uno o varios cuerpos de tamaño considerable que, por alguna razón, se fragmentaron? La mayoría de los astrónomos, y hoy también de los planetólogos, se inclina a pensar que existen meteoritos y asteroides de ambos tipos: los carbonáceos, junto con los núcleos cometarios y los objetos que integran el cinturón asteroidal de Kuiper (situado más allá de la órbita de Neptuno), serían primarios; pero -en contrapartida- no parece plausible que lo sean los otros cuerpos menores citados más arriba. Da, en efecto, la impresión de que tales objetos son genéticamente secundarios; serían, pues, pedazos de unos cuerpos progenitores interiormente diferenciados.

Esta teoría, que tiene ya muchos años<sup>69</sup> y que goza de amplio apoyo, es coherente con lo que los estudios acerca de la densidad de la Tierra y de la transmisión de ondas sísmicas sugieren sobre el interior del globo. Por otra parte, la alta concentración de hierro que observamos en la superficie de Marte, y su presencia nada despreciable en la de nuestro propio planeta (bien visible en numerosos desiertos, en los que predominan los tonos rojizos), da testimonio de la importancia de este elemento en los planetas rocosos.

#### **4. 8. Las enseñanzas de una revolución científica**

Percibida en sus inicios, por Tuzo Wilson, como una revolución científica típica, que incluso servía de perfecta ilustración de las tesis expuestas en *La estructura de las revoluciones científicas*, la tectónica de placas ha sido contemplada desde ese punto de vista por no pocos autores. La “asimilación” del proceso que condujo al surgimiento y a la adopción de la nueva concepción dinámica de la Tierra, por la epistemología kuhniana, es por lo demás fácilmente explicable teniendo en cuenta la gran cantidad de rasgos de aquel cambio de concepción, producido en los años 60, que corroboran la descripción que hace Kuhn del *cambio científico* en general: se accedió, en efecto, a un modelo terrestre dotado de gran coherencia sobre la base del encaje –que se produjo “en cascada”– de numerosas piezas inicialmente dispersas, una de las cuales era la hipótesis wegeneriana de la deriva continental; existió ese “clic” gestáltico a que alude

---

<sup>69</sup> Ya que fue propuesta en la primera década del siglo XIX, tras la comprobación de que Ceres no era el único “planeta” que recorría una órbita entre Marte y Júpiter. En su primera versión, los astrónomos se referían a un planeta que habría estallado por causas desconocidas. A lo largo del siglo XX, la tendencia inmensamente mayoritaria ha sido considerar que los cuerpos progenitores de los asteroides y meteoritos actuales no han podido sobrepasar la talla de los mayores asteroides que existen hoy día (500-1100 km de diámetro).

Kuhn en el capítulo 10 de *La estructura...* (lo experimentó individualmente, por ejemplo, Hess en 1960, al concebir el mecanismo clave de la extensión del suelo oceánico); en un período corto de tiempo, entre 1963 y 1968, numerosos científicos de la Tierra –empezando por Tuzo Wilson– modificaron radicalmente la visión que tenían de la geodinámica interna, y hasta de la Tierra misma –que, “de estática en conjunto, y sólo abordable por áreas restringidas, pasaba a ser globalmente dinámica y móvil” –, y fórmulas como “conversión al movilismo” y “caída de las vendas sobre los ojos que impedían ver la Tierra como un sistema dinámico” se han utilizado profusamente desde entonces para aludir tanto a la experiencia individual de numerosos investigadores como –más aun– al fenómeno generalizado de cambio de actitud de la comunidad científica; se logró enseguida la resolución de numerosos enigmas que las anteriores escuelas de geología no solucionaban de manera convincente (o no *en su totalidad*: resolvían uno a costa de ignorar el resto). Etcétera.

Las cosas pasaron así, para gran satisfacción de Thomas Kuhn y sus seguidores. En qué medida el cumplimiento impecable del esquema kuhniano por la geo-revolución de hace cuatro décadas es totalmente independiente de unos divulgadores (y en algunos casos, como el de Tuzo Wilson, también autores) de la nueva concepción, de notorias simpatías kuhnianas, es algo que no es fácil saber pero acerca de lo cual se podría sospechar. Pues, incluso considerando fundamentalmente válido el planteamiento kuhniano sobre el desarrollo de las ciencias –como yo mismo tiendo a considerarlo–, no creo que deba pasarse por alto la tendencia a la autovalidación de una concepción epistemológica que acaba de saltar a la palestra y que cuenta además con partidarios convencidos en un sector científico determinado. Sin cuestionar, por otra parte, la lucidez de la mayor parte de los planteamientos que expone Kuhn en su libro ya clásico del 62, creo que había muchas ganas de verlos “funcionar” en una revolución científica inédita; y la de la tectónica de placas fue –como se ha señalado repetidamente– la primera que sobrevino justo después de la publicación de *La estructura...*<sup>70</sup>

---

<sup>70</sup> Sin embargo –y aunque parezca paradójico– estas observaciones no echan por tierra, para nada, los planteamientos centrales de Kuhn: si tan nítidamente se ven en acción los principios del *cambio paradigmático* en el caso de la “revolución de la tectónica de placas” es

Quisiera incidir en algunos matices que, a mi juicio, presenta la innegable revolución de las ciencias de la Tierra que constituyó la tectónica de placas. Está, en primer lugar, ya lo he dicho, el llamativo *gestaltismo* del cambio producido. No me refiero sólo a la notoria *visualidad*, al carácter fuertemente *imaginal* del modelo desplegado, sino también al modo de ser interiorizado y de propagarse el cambio de concepción en cuestión: se dio, literalmente, esa percepción repentina de la coherencia de una *forma* nueva, a la que alude insistentemente Kuhn. De hecho, es sobre todo “el Kuhn gestáltico”, el del capítulo 10 de *La estructura...*, el que resulta más apoyado por esa *década prodigiosa de la geología* que fueron los años sesenta del siglo pasado.

En segundo lugar, parece claro que la coherencia global introducida por la brillante idea de la extensión del suelo oceánico se apoyó tanto en *nuevos datos observacionales* (aspecto empírico, positivo, sin el cual no hay ciencia posible) como en *geotradiciones*, “de investigación” y “culturales”. Puesto que el primer punto está meridianamente claro y ya ha sido tratado en el presente capítulo, me ocuparé ahora del segundo: estaba la marginalizada tradición (de investigación) movilita, que fue recuperada, y estaba también la tradición (más “cultural” que “de investigación”) que entendía la Tierra como una *realidad globalmente integrada*, como un *sistema* o incluso un *organismo*. Porque, se mire como se mire, la tectónica de placas es una típica *teoría de la Tierra-sistema*, y las explicaciones de la misma basadas en la necesidad de disipar de forma regular el calor interno –es decir, basadas en el nacimiento de una estructura disipativa abarcante del planeta en su conjunto–, no hacen sino llevar el agua al molino de una concepción sistémica de la Tierra.

Como combinación de los dos aspectos que se acaban de evocar –fuerte *gestaltismo* y entronque con tradiciones preexistentes– de la revolución geotectónica, surge un tercero de *recuperación de imágenes telúricas globales* propuestas hace mucho. No me estoy refiriendo únicamente al “mapamundi en movimiento” de Wegener (ver fig.

---

justamente porque una nueva predisposición a ver... cambios paradigmáticos se había instalado desde hacía unos años. De modo que un *clic gestáltico* se había desencadenado *asimismo* en relación al tema del cambio en la ciencia. El enfoque kuhniano sería, pues, autoaplicativo: “su propia teoría cumpliría la teoría”.

12), sino igualmente a algunas de las visiones evocadas en el capítulo 2, desde la Tierra inicialmente fundida de Descartes y Leibniz (que luego retomó Buffon) hasta la sorprendente intuición imaginal de Kircher<sup>71</sup>, pasando incluso por las extravagantes concepciones de “otras tierras dentro de la Tierra” (Halley, Gautier...) ya que semejante evocación es sugerida por la figura 19, en la que se utiliza la metáfora de los *criptocontinentes* y *criptoocéanos*. Todo esto nos permite entender mejor la calificación por Hess de su propia hipótesis como “geopoesía”: no creo que fuese simple cuestión de modestia, de reconocimiento de un déficit provisional de rigor: en esa curiosa declaración flotaba también la idea implícita de la presencia de unos ecos antiguos y de un importante potencial metafórico en el “modelo oceánico” que él proponía.

Fuera de discusión queda la fecundidad heurística de la nueva teoría de la Tierra. Contando con ella, se desarrolla desde los años setenta una amplia corriente de “ciencia normal” tan jalonada de hallazgos como de nuevos problemas, como hemos visto. Todo pasa como si la máquina térmica terrestre basada en la tectónica de placas –y en sus prolongaciones en profundidad, en trance de exploración y modelización– bastase para garantizar una eficaz disipación de la energía interna planetaria a través de una variada gama de fenómenos geológicos asociados. Pero ¿qué pasa con el flujo externo de energía, con el importante flujo energético que llega a la Tierra procedente del Sol? El modelo de Gaia, de James Lovelock y Lynn Margulis, tiene algo que decir al respecto, como a continuación vamos a ver.

---

<sup>71</sup> Su “fuego central” nos recuerda inevitablemente un núcleo terrestre que es, de hecho, la principal reserva de energía térmica del globo. Y los “pirofilacios” del jesuita resultan evocadores, a más no poder, de heterogeneidades térmicas de tipo *penacho*, *chimenea volcánica* y *cámara magmática*.

## Capítulo 5. Revolución en la percepción de la Tierra : la hipótesis Gaia

### 5. 1. A modo de introducción

En agosto del 2000, Jim Gillon dejaba constancia en *Nature* de que, hasta fechas recientes, la simple mención en tono aprobatorio de la *hipótesis Gaia* de J.E. Lovelock bastaba para comprometer gravemente la carrera científica o académica de cualquier profesional de las ciencias de la Tierra.<sup>1</sup> ¿Qué concepción es esa que fue tan duramente acogida por la comunidad científica? ¿Qué motivos hay –o ha habido– para semejante recepción? Para responder a estas dos preguntas, previas a toda eventual profundización en la teoría y a cualquier intento de articularla con otros desarrollos teóricos, suministraré primero un resumen históricamente enmarcado y lo más claro posible de la concepción de nuestro planeta conocida como “hipótesis Gaia”, poniéndola a continuación en relación con sus antecedentes, incluso remotos. Al hacer esto, tres temáticas mayores que ya fueron propuestas en el capítulo 1, pasarán a primer plano: la de las *tradiciones culturales*, la de los *paradigmas* y la del *debate científico-metodológico de fondo* (análisis reductivo *versus* “complejidad”); y espero que a la luz que, según pienso, tales temáticas son capaces de proyectar, pueda entenderse mejor un hecho sociológico como el señalado, repleto de consecuencias epistemológicas. Cubierta esta primera etapa, podremos seguir avanzando.

---

<sup>1</sup> Gillon, J., “Feedback on Gaia”, *Nature*, 406, 2000, p. 685.



## 5. 2. El nacimiento de la hipótesis Gaia

### 5. 2. 1. De Marte a la Tierra

La geología más tradicional y asentada estudiaba ante todo la Tierra regionalmente, por zonas; y el geólogo típico era un descriptor cuidadoso de los elementos constitutivos de la Tierra, a diferentes escalas, no tanto de la Tierra entera. ¿La imagen popular del geólogo no es acaso la de un sabio naturalista “que estudia las piedras”?

El conocimiento de la meso y micro-estructura terrestre es necesario y valioso, eso está fuera de cuestión. Pero me interesa poner de relieve el dato histórico, de apariencia paradójica, de una “ciencia de la Tierra” que, hasta bien entrado el siglo XX, tenía serias dificultades con la escala terrestre global, hasta el punto que sólo una minoría de sus practicantes se atrevía a enfrentarse a ella, y además -ya lo hemos visto- con desigual fortuna y en competencia no siempre ventajosa con otros científicos.

Me parece que la razón de esto reside sencillamente en la ancestral falta de perspectiva física del ser humano en relación a su propio planeta: la Tierra está “tan cerca” que nos resulta difícil percibir su unidad. Nos recuerda Bergson que para apreciar que algo es UNA cosa es imprescindible que lo veamos globalmente, sin detenernos excesivamente a considerar sus detalles, que nos obligarían a centrarnos en su plural composición. Dicho en lenguaje corriente, es preciso evitar que *los árboles nos impidan ver el bosque*. Pero ¿cómo evitarlo tratándose de la Tierra, que es en definitiva nuestro mundo? Sólo mediante un poderoso esfuerzo imaginativo, o... escapándose de ella para conseguir la perspectiva que nos falta. Lo primero sólo estaba aparentemente al alcance de unos cuantos soñadores y poetas. Lo segundo, la humanidad acaba de lograrlo hace menos de medio siglo.

El célebre astrónomo británico Alfred Hoyle dijo en 1948: “Cuando al fin dispongamos de una foto de la Tierra tomada desde el espacio exterior, se pondrá en

marcha una nueva y poderosa idea”.<sup>2</sup> Sin que pueda hablarse de un cambio espectacular, creo que efectivamente algo de eso ha habido. Ver (literalmente) la Tierra flotando en el espacio, como uno más de esos globos-planetitas que, desde el siglo XVII, nos muestran los telescopios, es en efecto “toda una experiencia” que no cabe minimizar porque no sea, en sí, racional-analítica y ni tan siquiera fácilmente verbalizable. Antes bien, pienso que nuestra aun reciente visión de la Tierra como un todo constituye uno de los raros ejemplos de una experiencia *pública* de carácter cualitativo-sintético, cuya fertilidad es, por lo demás, notable.

La exploración espacial se inició en 1957, y una de sus primeras grandes realizaciones consistió precisamente en proporcionarle a la humanidad esa experiencia. La “percepción” (ya no sólo la “concepción”) de la Tierra como planeta, en lugar de como simple marco o escenario, comenzó entonces, y paralelamente la idea ya vieja de los demás planetas como “otras Tierras” posibles conoció un relanzamiento. La NASA elaboró un primer programa de exploración de Marte por ingenios no tripulados, cuya prioridad esencial era detectar indicios de vida. Es aquí cuando Lovelock entra en escena.

James E. Lovelock es otro “científico de la Tierra” atípico (¿cuántos van? Hutton era médico, químico y agricultor, Lyell abogado, Wegener meteorólogo...). Químico y doctor en Medicina él también, como Hutton, se especializó tempranamente en tecnología de detección de gases. Trabajando de forma independiente, creó y desarrolló un detector electrónico capaz de identificar numerosos gases ionizados, y de medir con gran precisión sus concentraciones incluso cuando éstas no superan unas pocas partes por billón. Conviene señalar que el dispositivo de Lovelock ha sido uno de los primeros instrumentos utilizados para detectar los gases CFC (cloro-fluorohidrocarburos) causantes del adelgazamiento de la capa de ozono estratosférica.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Cita incluida en Norman Myers (ed.), *Gaia: an Atlas of Planet Management*, Gaia Books / Anchor Press, Londres / Nueva York, 1984, p. 21. Por su parte, Ricard Guerrero abre con esta misma cita su Presentación de la traducción española (de la que es asimismo autor) de *The Ages of Gaia*, la segunda obra de Lovelock (ver *Las edades de Gaia*, Tusquets, Barcelona, 1993, p. I).

<sup>3</sup> Lovelock, J., *Las edades de Gaia*, pp. 157-158.

Con estas referencias no es de extrañar que la NASA quisiera contar con él a la hora de diseñar procedimientos para detectar vida residual en Marte. Cuando, hacia 1965, Lovelock aceptó este encargo, se hizo de entrada el razonamiento siguiente, que utilizaba nuestro planeta como elemento comparativo: ¿qué podría hacer sospechar a una hipotética civilización marciana, poseedora de telescopios y espectrógrafos, que existe vida en la Tierra? La atmósfera, ante todo. Porque *la nuestra no es una atmósfera químicamente estable*. La mezcla de gases que cubre nuestro planeta hasta una altura de un par de centenares de kilómetros es fuertemente reactiva, y no perduraría de no ser por la continua renovación gaseosa que origina la biosfera. Veámoslo un poco más en detalle: cualquier átomo individual de oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>) tiene una gran tendencia a participar en reacciones oxidativas y a fijarse (y más aun en presencia de agua, tan abundante en la Tierra), pero la función fotosintética de las plantas libera continuamente oxígeno a la atmósfera; en cuanto al metano (CH<sub>4</sub>), presente en una proporción pequeña pero significativa, es tan combustible que se le utiliza para alimentar hornos, y su constancia sólo se debe a la existencia de fuentes productoras orgánicas a pleno rendimiento. Invirtiendo el punto de vista -pensaba Lovelock- los científicos terrícolas están en condiciones de concluir, sin necesidad de ir a Marte ni de enviar allí aparato alguno, que en el planeta rojo no hay vida actualmente. Por la sencilla razón de que la rarificada atmósfera marciana se encuentra en perfecto equilibrio químico, al estar formada por un 95% de anhídrido carbónico, más pequeños porcentajes de nitrógeno y argón. La verdad es que la atmósfera del vecino planeta se parece mucho al residuo gaseoso de una combustión completa.

Los responsables de la NASA se sintieron tan decepcionados por el informe que decidieron cancelar el contrato de Lovelock.<sup>4</sup> De hecho, algunos científicos de la institución contraatacaron manejando el argumento de que la vida marciana podría ser muy diferente de la terrestre y no necesitar para nada el oxígeno. Esto está, por lo demás, fuera de duda: la vida terrestre primitiva tampoco basaba su metabolismo en la

---

<sup>4</sup> Según el propio Lovelock en el vídeo “Gaia Theory”, producido por él. Referencia suministrada por David Sempau, traductor al español de: Capra, F. (1996), *The Web of Life*, (ver *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona, 1998, p. 121, nota del traductor).

utilización del oxígeno. Pero, en todo caso, *cualquier tipo de metabolismo generará necesariamente gases inestables*, tendrá importantes efectos sobre el medio ambiente, incluso atmosférico. Pues siendo la vida un caso extremo de “dinámica lejos del equilibrio”, de “ruptura de la tendencia a la homogeneización entrópica” (Schrödinger, Prigogine...), su presencia tiene, por fuerza, que reflejarse en desequilibrios dinámicos –en reequilibramiento cíclico permanente– en el medioambiente con el que esa misma vida realiza continuos intercambios. Una atmósfera en equilibrio químico aparece, pues, como incompatible con cualquier tipo de vida.

El mismo razonamiento es aplicable a Venus, con una capa atmosférica mucho más densa y gruesa que la de Marte (y que la de la Tierra), pero de composición casi idéntica a la marciana.

### **5 . 2 . 2. La hipótesis**

La tarea que se le había encomendado referente al planeta Marte hizo paradójicamente que Lovelock se centrara, todo el resto de su vida, en la Tierra. Sintió que, de algún modo, había abierto la caja de Pandora. Aunque la atmósfera terrestre no ha tenido siempre la misma composición (el oxígeno en concreto faltaba casi totalmente durante la primera mitad de la historia del planeta), desde muy pronto ha exhibido las características de una mezcla gaseosa “lejos del equilibrio”: en el período Arcaico, era, al parecer, el metano el gas que mantenía una alta concentración<sup>5</sup>, a pesar de ser muy sensible a la radiación infrarroja especialmente.<sup>6</sup> Y está también la temperatura: la creencia generalizada es que nuestro planeta mantiene una temperatura media templada, es decir, compatible con el florecimiento de la vida, debido a que se encuen-

---

<sup>5</sup> Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, pp. 95-96.

<sup>6</sup> Peter Westbroek, en comunicación personal (febrero de 2003), me advierte que la afirmación, que se encuentra en algunos textos, de que el metano es descompuesto fácilmente por la radiación ultravioleta, es probablemente errónea.

Gas	Planeta			
	Venus	Tierra sin vida	Marte	Tierra tal como es
Dióxido de carbono	98%	98%	95%	0,03%
Nitrógeno	1,9%	1,9	2,7%	79%
Oxígeno	vestigios	vestigios	0,13%	21%
Argón	0,1%	0,1%	2%	1%
Temperaturas de superficie (en ° C)	477	290±50	—53	13
Presión total (en bares)	90	60	0,064	1,0

Cuadro 2

tra a la distancia óptima de la estrella central del sistema, el Sol; pero esto no está finalmente tan claro, puesto que si se hacen cálculos contando con una atmósfera terrestre diferente de la actual, y en equilibrio químico (es decir, análoga a las que tienen nuestros vecinos Venus y Marte), se obtiene que la temperatura media de semejante “Tierra muerta” sería de 290°C (cuadro 2). Pero evidentemente la Tierra no tiene ese tipo de atmósfera. Y no la tiene, precisamente porque el peculiarísimo fenómeno de la vida se desarrolla en ella casi desde su origen.<sup>7</sup> Ahora bien, una condición necesaria, reconocida por todos, para el florecimiento de la “vida del carbono” es la presencia de agua en estado líquido, y surge enseguida la interrogación de cómo es que en aquella Tierra primitiva en que nació la vida, y sobre la que solemos proyectar la imagen de un mundo extremadamente cálido<sup>8</sup>, el agua no se encontraba en estado de vapor. Pero el caso es que, según Lovelock, ese problema no debía existir,

<sup>7</sup> Los análisis micropaleontológicos de las rocas arcaicas hacen retroceder cada vez más los primeros rastros de vida. En los últimos años, se ha pasado de los 3500 millones de años estimados por Lovelock a 3850 m. de a. Teniendo en cuenta que la edad de la Tierra es de unos 4600 m. de a., y que las bacterias fósiles encontradas muestran ya una gran complejidad estructural, todo apunta a que la vida surgió realmente muy pronto en nuestro planeta.

<sup>8</sup> Siguiendo en esto a Descartes, Leibniz y Buffon.

puesto que, hace entre 4000 y 3500 millones de años, el Sol emitía entre un 25 y un 30% menos de energía que en la actualidad. Este dato se obtiene al aplicar a nuestro caso las actuales teorías de la evolución estelar, según las cuales las estrellas emiten cada vez más energía en el transcurso de una larguísima fase de su proceso de envejecimiento. El propio Lovelock toma en consideración el intenso efecto invernadero, ligado a la presencia de una densa atmósfera de CO<sub>2</sub>, que tenía que existir por entonces y que elevaría considerablemente la temperatura pese a la debilidad de los rayos solares. Pero tal vez se queda corto al estimar una temperatura media terrestre, contando con dicho efecto, de 23°C (o incluso inferior, llega a decir).<sup>9</sup> Es algo comunmente admitido que el vulcanismo de los primeros tiempos de la historia del planeta era mucho más intenso que en la actualidad, debido a hallarse el interior de la Tierra mucho más caliente en todo caso, reciente como estaba la acreción originaria; y que ese vulcanismo liberaba una masa enorme de gases, principalmente CO<sub>2</sub>. Es de suponer que ello diera como resultado una atmósfera no sólo formada principalmente por anhídrido carbónico sino también con una presión considerablemente más alta (¿el doble o el triple?) que la actual. Es lógico, pues, que Tyler Volk, un científico ubicado en el paradigma de Gaia, proponga una temperatura media inicial de la Tierra mucho más elevada, de alrededor de 65°C.<sup>10</sup>

En todo caso, parece estar claro que al comienzo de su historia, la Tierra se encontraba más o menos en la “zona óptima” del sistema solar en orden a la presencia estable de agua líquida y a que, en su seno, pudiese sintetizarse vida orgánica elemental (una vida verosímilmente *termófila*<sup>11</sup>). Pero después las cosas cambiaron: al brillar el Sol cada vez con más fuerza, el “planeta azul” pasó poco a poco a la zona del sistema que es teóricamente demasiado caliente, arriesgando transformarse en un segundo Venus. Es evidente que tal cosa no ha ocurrido, y la prolongada preservación

---

<sup>9</sup> Lovelock, J., *Las edades de Gaia*, pp. 86-87.

<sup>10</sup> Tyler Volk, *Gaia toma cuerpo*, Cátedra, Madrid, 2000, p. 244.

<sup>11</sup> Llámense “termófilos” los microorganismos que viven y prosperan en condiciones de elevada temperatura, próxima incluso al punto de ebullición del agua.

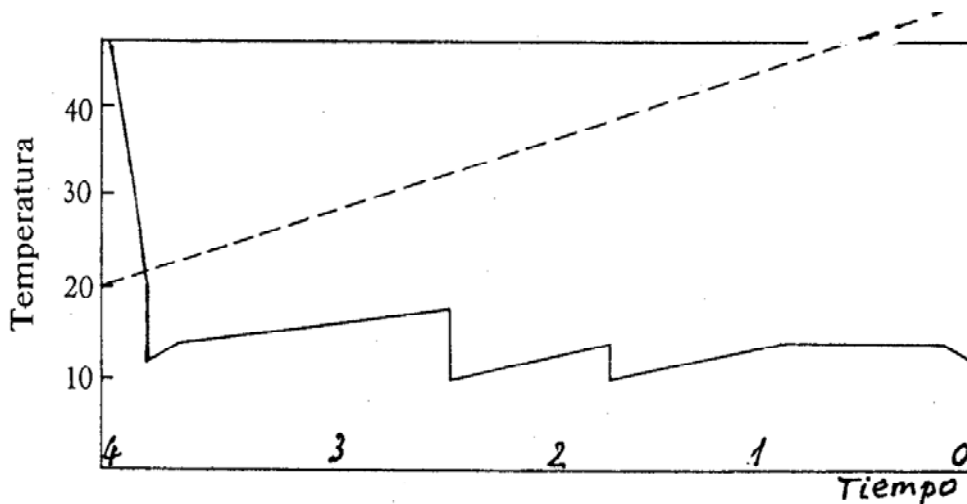


Figura 20. Las dos evoluciones alternativas de la temperatura terrestre, según Lovelock

de nuestro planeta le dio mucho que pensar a Lovelock. La figura 20 recoge los dos modelos de evolución de la temperatura de la Tierra desde su formación, que propone Lovelock: con vida (caso real) y sin vida (caso imaginario). La figura 21 reproduce otra modelización gaiana de la evolución de la temperatura, la que plantea Tyler Volk.

Algunas otras observaciones relativas a aspectos composicionales sugerían igualmente una extraña preservación, a lo largo de los tiempos geológicos, de las condiciones físico-químicas compatibles con la vida, frente a la acción incesante de las variables destructivas. Es lo que sucede, por ejemplo, con el mantenimiento de la concentración salina de las aguas oceánicas dentro de ciertos márgenes muy moderados. Las emisiones volcánicas liberan constantemente sales, que en una pequeña proporción reaccionan con las sustancias del suelo y se integran en él, pero que, en su mayor parte, son disueltas por la lluvia y por las aguas continentales, y van a parar al mar. Este proceso no ha cesado desde que la Tierra se consolidó, y se plantea por tanto el interrogante de cómo es que los océanos no se hallan totalmente saturados de sal, dada la acumulación progresiva que cabría esperar. El problema es bien real, y se han propuesto varias soluciones para el mismo. Baste ahora con decir que la existencia de vida sería problemática (aunque tal vez no imposible) en el seno de

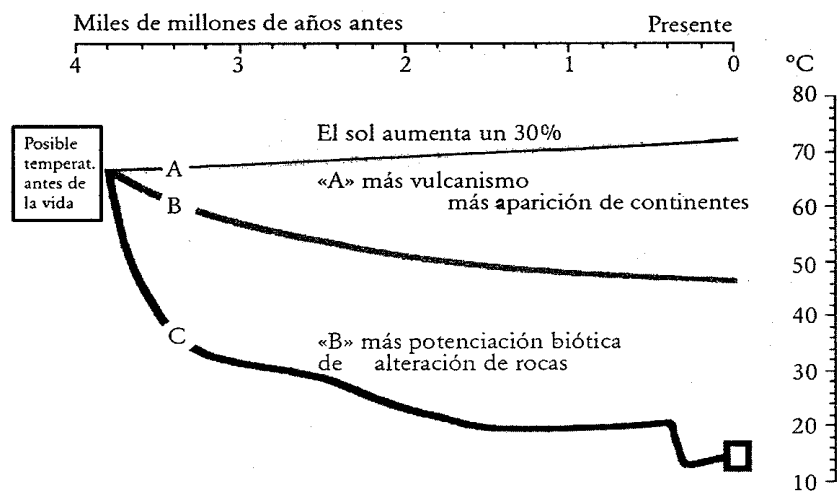


Figura 21. Evoluciones alternativas de la temperatura terrestre, según Tyler Volk

océanos de salmuera. Por su parte, Lovelock pensó que la vida misma era capaz de poner en marcha procesos que contribuirían a la eliminación regular del exceso de sal de las aguas marinas.

Por lo demás, por los años en que Lovelock estaba sumido en estas reflexiones, el uniformitarismo geológico estaba en crisis, y se admitía cada vez más que grandes situaciones catastróficas habían sobrevenido con periodicidad más o menos clara, dando lugar a masivas extinciones de organismos. Cuatro o cinco de estas fases de desestabilización generalizada habían sido detectadas, y las explicaciones que se les daban hacían intervenir los más aterradores factores: fases paroxísticas del vulcanismo, caídas de grandes meteoritos, “picos” extraordinarios de actividad solar... Sin olvidar el eventual envenenamiento de un alto porcentaje de organismos, sea exógeno (por ejemplo, causado por sustancias cometarias), o endógeno, es decir, motivado por procesos puramente terrestres, biógenos incluso, como lo fue el rápido incremento del oxígeno atmosférico hace aproximadamente 2 300 millones de años, que tuvo un efecto letal para la gran mayoría de los microorganismos anaerobios que poblaban la Tierra. Pero ¿cómo es que las “constantes vitales” del planeta se han recuperado



*siempre*, a lo largo de un período tan sorprendentemente dilatado, de perturbaciones tan severas?

En 1969, Lovelock expuso por primera vez, en Princeton, su célebre *hipótesis Gaia*, que da respuesta a estos interrogantes mediante una de las concepciones de la Tierra más sugerentes y polémicas jamás formuladas en el ámbito científico. En el primero de sus libros sobre el tema, publicado diez años después, Lovelock define esta hipótesis en los siguientes términos:

El conjunto de los seres vivos, de las ballenas a los virus, de los robles a las algas, puede ser considerado como una [*sola*] entidad viviente capaz de transformar la atmósfera del planeta para adecuarla a sus necesidades globales. Dicha entidad está dotada de facultades y poderes que exceden con mucho a los que poseen sus partes constitutivas.<sup>12</sup>

Y precisa, un poco más adelante:

Hasta aquí hemos definido a Gaia como una entidad compleja que comprende el suelo, los océanos, la atmósfera y la biosfera terrestre: el conjunto constituye un sistema cibernético autoajustado por retroalimentación que se encarga de mantener en el planeta un entorno físico y químicamente óptimo para la vida. El mantenimiento de unas condiciones hasta cierto punto constantes mediante control activo es adecuadamente descrito con el término “homeostasis”.<sup>13</sup>

En un primer momento, la comunidad científica no acogió bien esta propuesta. Hoy, con la perspectiva que empiezan a proporcionar los más de treinta años transcurridos, y en el contexto de un cierto cambio de valoración, se está en condiciones de apreciar que el rechazo casi general que el geofisiologismo gaiano cosechó inicialmente no tenía demasiado que ver ni con su formulación -de notable coherencia- ni con los problemas que, de hecho, resolvía. Cuatro eran, a mi modo de ver, los principales motivos de la hostilidad de la comunidad científica:

---

<sup>12</sup> Lovelock, J., *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, Hermann Blume, Madrid, 1983, p. 22.

<sup>13</sup> *ibid.*, p. 24.

1. La revisión del concepto de “vida” que propiciaba. Puesto que si se acepta la definición tradicional de ser vivo como “toda entidad que metaboliza, posee un dinamismo interno constitutivo y se reproduce”, la Gaia loveclockiana queda excluida. Y más aun si se cede a la exigencia de numerosos biólogos darwinistas, especialmente críticos hacia “Gaia”, de añadir el mecanismo evolutivo de la selección natural a la lista de las condiciones que todo lo viviente debe cumplir.
2. El *aroma teleológico* que muchos científicos creyeron detectar en lo que interpretaron como la hipótesis de una Tierra viva y dotada de “voluntad”, ya que actuaba en el sentido de adecuar el medio a sus necesidades.
3. La dificultad de “falsar”, es decir, de someter a tests de refutación una hipótesis de las características de esta.
4. El nombre mitológico escogido por Lovelock, que -en opinión de los críticos- dejaba traslucir una concepción panpsiquista.

Resumiendo: da la impresión de que el rechazo que la concepción de Lovelock recogió inicialmente en la comunidad científica se debió no tanto a que se detectasen en ella fallos teóricos fundamentales, sino a otras causas, que van desde la resistencia que inevitablemente levantan las propuestas que implican giros paradigmáticos, hasta el malestar provocado por una denominación que –sobre todo, a la vista de la justificación poética y vagamente mística que Lovelock dio de ella– parecía una especie de guiño a “algo” entre bastidores, ajeno a la ciencia. Pronto ampliaremos el análisis de la recepción de la propuesta de Gaia, pues –como hemos tenido ya ocasión de ver al tratar del moviismo wegeneriano– los rechazos de teorías pueden ser extremadamente ricos en enseñanzas.

### 5. 2. 3 . La contribución de Lynn Margulis

En las salas de conferencias de Madrid o Barcelona, ciudades en las que expone sus ideas con frecuencia, la bióloga norteamericana Lynn Margulis repite insistentemente: “No sólo nos sobrevaloramos como especie dominante, sino que exageramos también la importancia planetaria de los organismos pluricelulares, los más próximos a nosotros. Los denostados microbios son mucho más importantes. Y además, lo que predomina entre ellos es la cooperación, más que la competición.”

En su juvenil madurez, Margulis es la máxima figura de la corriente *simbiotista* de la biología evolutiva, alternativa crítica a la interpretación aun dominante, neodarwinista. Intentaré, a continuación, resumir sus puntos de vista.

La historia de la vida en el único planeta, la Tierra, en el que conocemos con certeza su existencia, cuenta con tres capítulos de complejidad creciente. La duración de los mismos es desigual, y el comienzo de uno no supone la desaparición del anterior. Vienen representados por los organismos unicelulares procariotas (no nucleados), los eucariotas (nucleados) y los organismos pluricelulares (metazoarios). Durante toda la fase biógena del período Arcaico, desde hace 3850 millones de años hasta hace 2500 m. de a., los únicos seres vivos eran los procariotas, principalmente bacterias, que ocupaban todos los hábitats y proliferaban enormemente, como testimonian los abundantes *stromatolitos* fósiles, restos columnares carbonatados -de hasta 100 m de altura- de duraderas colonias bacterianas.<sup>14</sup>

El paso al Proterozoico, hace 2500 m. de a.<sup>15</sup>, viene definido desde punto de vista paleontológico por la aparición de las células con núcleo, los organismos eucariotas. Y hacia el final de ese mismo eón geobiológico, los seres pluricelulares -animales, plantas y hongos- aparecieron a su vez. Pero ¿qué significa aquí “aparecer”?

---

<sup>14</sup> Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos*, Tusquets, Barcelona, 1995, pp. 122-123.

<sup>15</sup> Según el acuerdo de división de los tiempos Precámbricos en dos eones: Arcaico y Proterozoico, alcanzado en 1980 por la sección de estratigrafía de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas.

Arrumbados el creacionismo y la generación espontánea, sólo puede querer decir “evolucionar a partir de formas preexistentes”. Ahora bien, incide Margulis, al igual que los organismos pluricelulares tuvieron que surgir a través de procesos aun no conocidos de agregación de eucariontes (¿pues cómo si no?), el origen de estos mismos seres unicelulares complejos sólo puede explicarse por la integración, o la asimilación simbiótica, de procariontes elementales. Esta propuesta dista mucho de ser especulativa: los cloroplastos de las células vegetales, orgánulos responsables de la fotosíntesis, tienen una gran similitud estructural con las cianobacterias, procariontes fotosintetizadores que dominaron el planeta en una determinada etapa del Arcaico, y que no se han extinguido del todo.<sup>16</sup> Igualmente, las mitocondrias, que contienen ADN extranuclear, y cuya función se asocia al almacenamiento y la utilización de energía en la célula, muestran los rasgos de ciertas bacterias muy agresivas que debieron evolucionar hacia formas “suaves” de parasitismo, hasta el punto de acabar simbiotizándose con sus víctimas.<sup>17</sup> Las dos propuestas reseñadas (que los cloroplastos y las mitocondrias, entre otros orgánulos celulares, son *endosimbiontes* que fueron bacterias libres alguna vez) gozan, hoy por hoy, de amplia aceptación, y no son pocos los que encuentran en ellas motivo más que suficiente para hacer de Lynn Margulis una candidata ideal al Nobel. Si este máximo galardón institucional no acaba de llegarle, es verosíblemente por el compromiso de esta bióloga con la hipótesis Gaia, se puede decir que desde el primer momento, pues fue en la conferencia que Lovelock dio en Princeton a finales de los sesenta, cuando Margulis descubrió la coherencia fundamental que existe entre la concepción de una biosfera holísticamente integrada, que condiciona numerosos aspectos de la geodinámica global, y su propia visión pansimbiótica de lo que ella llama el “microcosmos”: el mundo de los seres unicelulares. Lynn Margulis destaca, al respecto, las siguientes nociones básicas:

- Entre los microorganismos se dan continuos intercambios genéticos que vuelven problemáticas, en su caso, nociones tan fundamentales como “individuo” y “especie”.

---

<sup>16</sup> Margulis, L. & Sagan, D., *op. cit.*, pp. 149-151.

<sup>17</sup> *ibid.*, pp. 144-148.

Según Margulis, “la transferencia genética bacteriana no depende de la reproducción. Sin necesidad, pues, de reproducirse, una bacteria puede llevar un 90% de genes de otras.”<sup>18</sup>

- En su interacción con los organismos mayores, como los mamíferos (seres humanos incluidos), la mayoría de las bacterias no son patógenas como tenemos tendencia a creer, sino que establecen relaciones de simbiosis. Así, es bien conocido el papel de la flora intestinal, formada por inmensas poblaciones de microorganismos anaerobios que constituyen una auténtica supervivencia del Arcaico “dentro de nosotros”.

- A escala geográfica local, por ejemplo en lagos como los costeros mediterráneos y californianos, las comunidades bacterianas adoptan a menudo formas globales de organización, que convierten el ecosistema completo en una especie de micro-Gaia auto-regulada.<sup>19</sup>

- A la mesoescala de un ecosistema amplio, como el que representa la selva ecuatorial, el funcionamiento permanente de los mecanismos selectivos entre los organismos presentes (macro y microscópicos) se revela compatible con una auto-regulación de conjunto.<sup>20</sup>

¿Y qué ocurre a escala global? Doy de nuevo la palabra a Margulis:

Apenas se puede dudar de que la pátina viva del planeta, que nos incluye a nosotros, sea autopoietica.<sup>21</sup> La vida en la superficie de la Tierra parece regularse a sí misma cuando se enfrenta a perturbaciones externas, y lo hace sin tener en cuenta los individuos y las especies

---

<sup>18</sup> *ibid.*, p. 100.

<sup>19</sup> Ver Joseph, L.E., *Gaia. La Tierra viviente*, Cuatro Vientos, Santiago de Chile, 1992, pp. 31-32. Joseph destaca el carácter paradigmático del ecosistema microbiano de la laguna de Cisó (Girona), estudiado exhaustivamente por Lynn Margulis.

<sup>20</sup> Ver: Lenton, T.M., “Gaia and natural selection”, *Nature*, 394, 1998, pp. 439-447.

<sup>21</sup> *Autopoiesis*: literalmente, “creación de sí mismo”. Neologismo debido a Humberto Maturana y a Francisco Varela, que pone de relieve la *autogeneratividad*, un rasgo esencial de lo viviente. (**Nota del autor de la tesis**)

que la componen. Más del 99,99% de las especies que han existido están extinguidas, pero la pátina del planeta, con su ejército de células, ha continuado existiendo durante más de tres mil millones de años. Y la base, pasada, presente y futura de esa pátina es el microcosmos, constituido por billones de microbios en comunicación y en continua evolución. El mundo visible es una porción reciente y sobredimensionada del microcosmos; funciona únicamente gracias a su bien desarrollada conexión con las actividades del microcosmos. Creemos que los microbios han mantenido por sí mismos la temperatura media de la Tierra en niveles acogedores para la vida, a pesar de que el Sol al principio era mucho menos luminoso, según creen los astrónomos. En los tiempos del Arcaico los “estúpidos” microbios también modificaron continuamente la composición química de la atmósfera para que no se hiciera inadecuada para la vida como un todo.<sup>22</sup>

La participación de la prestigiosa ecobióloga en la fundamentación teórica y en la difusión de la hipótesis Gaia es tan grande que hoy en día suele atribuirse la paternidad de dicha concepción por igual a James Lovelock y a Lynn Margulis. De todos modos, aunque en lo esencial ambos colaboradores están de acuerdo, entre ellos se dan algunas diferencias, tanto sobre hasta dónde llega la *globalidad* de Gaia (para Lovelock, al planeta entero incluidas sus capas internas, mientras que Margulis prefiere limitarla a la “pátina” hidro-litosférico-atmosférica directamente asociada a la biosfera<sup>23</sup>) como en cuanto a la actitud a mantener ante la dimensión sociológica de Gaia (aspecto religioso incluido), frente a la cual Lovelock se muestra más tolerante.

---

<sup>22</sup> Margulis & Sagan, *op. cit.*, pp. 84-85.

<sup>23</sup> En el sentido que le dio al término Vernadsky: la “capa” del planeta Tierra en que la vida está presente, incluyendo las dinámicas que pone en marcha en su seno y aquéllas en las que participa. También se entiende, a veces, por biosfera la masa viva terrestre total, en su localización concreta. Sin embargo, esta segunda acepción se presta a confusión con el término *biota* (la masa viva total, sin tener en cuenta su localización espacial).

### 5. 3. Raíces históricas de la hipótesis Gaia

No es difícil seguir el *río imaginal* (Gilbert Durand) de la concepción de la Tierra que defienden Lovelock y Margulis. Está, de entrada, el nombre mitológico, cuya adopción explica Lovelock del siguiente modo:

Fue William Golding, el escritor<sup>24</sup>, vecino mío a la sazón, quien solventó felizmente la carencia de nombre [*de la nueva hipótesis*]. Recomendó sin vacilación que esta criatura fuera llamada Gaia en honor de la diosa griega de la Tierra, también conocida como Gea, nombre del que proceden los de ciencias tales como la geografía y la geología. A pesar de mi ignorancia de los clásicos, la oportunidad de la elección me pareció evidente. Era una palabra breve que se anticipaba a alguna bárbara denominación del tipo de Sistema de Homeostasis Biocibernética Universal. Tenía además la impresión de que en la Grecia antigua el concepto era probablemente un aspecto familiar de la vida, sin necesidad de expresarlo formalmente. Los científicos suelen estar condenados a llevar vidas urbanas, pero he tenido oportunidad de constatar el asombro que la gente de zonas rurales, más próximas a la tierra, siente ante la necesidad de proposiciones formales para enunciar algo para ellos tan evidente como la hipótesis Gaia.<sup>25</sup>

La raíz más remota es pues –digámoslo sin ambages– pagana. Y tal carácter queda incluso subrayado, supongo que inconscientemente, por Lovelock cuando se refiere al acuerdo espontáneo de “la gente de zonas rurales” con la idea de que la Tierra está viva, teniendo en cuenta que, etimológicamente, “pagano” significa *campesino*.

El mito genésico de Gaia, narrado por Hesíodo en la *Teogonía*, es sin duda uno de los de mayor fuerza que el ser humano haya jamás concebido. Pero ahora centrémonos en los filósofos: se ha señalado ya que la idea de que la Tierra cuenta con una peculiar fisiología se halla presente en Aristóteles, pero es que –como era, por lo demás, de

---

<sup>24</sup> Premio Nobel de literatura en 1983. (Nota del autor de la tesis)

<sup>25</sup> Lovelock, J., *Gaia. Una nueva visión...*, pp. 23-24.

esperar– su maestro y “rival” Platón había ido aun más lejos, al afirmar en el *Timeo* que “este universo llegó a ser verdaderamente un ser viviente, provisto de alma y razón por la providencia divina.”<sup>26</sup> Más tarde, el neoplatonismo hizo del *Alma del Mundo* una de sus principales nociones, y ello tanto en la Antigüedad tardía como en sus distintos retornos.

Al comparar las concepciones platónica y aristotélica de la Tierra, apreciamos la fundamental proximidad entre ellas. Sólo varía, de hecho, el tono: Platón, más místico, enfatiza el *alma* del ser-mundo (recordemos que la Tierra era simplemente la zona central del cosmos), mientras que Aristóteles señala que la existencia de numerosos procesos terrestres cíclicos, equiparables a los orgánicos, permite entender la Tierra como una especie de “animal eterno”. La visión orgánica y animada de la Tierra, que en adelante llamaré *griega* ya que todas las fuentes helénicas apuntan a ella, ha estado presente –más o menos explícitamente– todo a lo largo de la historia. Pero ciertamente no ha estado sola, puesto que siempre ha habido otra, que –simplificando<sup>27</sup>– llamaré *vétero-testamentaria*, para la cual el mundo terreno, inanimado y pasivo, no es nada más que el escenario en el que sobrevienen los acontecimientos así naturales como humanos. Conviene señalar que la primera concepción contiene a la segunda (la Tierra, sea o no una entidad orgánica, es escenario privilegiado de sucesos), pero no a la inversa.

Con matiz aristotélico, reencontramos la concepción griega de la Tierra en los Hermanos de la Pureza, destacado exponente de la cultura islámica de Oriente Medio, y con acusado sesgo neoplatónico y hermético la volvemos a detectar, más tarde, en la corriente alquímica renacentista. El sorprendente movimiento cultural que representó la Alquimia (en sus dos facetas, “especulativa” y “operativa”) no puede ser ignorado. Los alquimistas especulativos se autodefinían –y de hecho, eran– *filósofos de la Naturaleza*, y entre ellos se cuentan algunas figuras universales de la historia del

---

<sup>26</sup> Platón, *Timeo* 30b, trad. cit., p. 173.

<sup>27</sup> Puesto que algunos pensadores de la Antigüedad clásica, como Lucrecio, participaban también de esta segunda visión.



pensamiento, como Paracelso (1493-1541), cuya concepción dinamicista ha sido destacada, no hace mucho, como precursora por Laín Entralgo, quien dice lo siguiente:

El contraste entre la mentalidad panvitalista de Paracelso y la mentalidad mecanicista que entonces se inicia no puede ser más evidente. A partir de Galileo y Descartes, los seguidores de la última verán los entes del cosmos como cosas extensas, espacialmente configuradas y más o menos resistentes y elásticas, cuyos movimientos pueden ser medidos y deben ser explicados como la consecuencia de fuerzas en principio exteriores al cuerpo que se mueve. (...) Frente a ellos, Paracelso y quienes heredan lo esencial de su pensamiento ven los entes cósmicos como fluyentes manifestaciones de fuerzas o, más precisamente, como sede de principios operativos inscritos en su realidad, y su génesis y sus transformaciones como la sucesiva aparición de formas nuevas y de nuevas propiedades cualitativas; lo cual equivale a decir que la causa eficiente de todo movimiento cósmico –la formación de filones metálicos en el seno de las montañas, el crecimiento de una planta, la formación del corazón– es metafísicamente interior al cuerpo que se forma y se mueve o cambia.(...) La *dynamis* de la cosmología antigua se vuelve “potencia motriz e impulsora” en el pensamiento de los mecanicistas y “potencia generativa y transformadora” en el de Paracelso y sus secuaces.<sup>28</sup>

El “materialismo vitalista” de los alquimistas influyó considerablemente en la concepción del mundo de Kepler<sup>29</sup> y fue, al parecer, una de las fuentes de inspiración de Newton, que mantuvo durante toda su vida un vivo interés por tal corriente, según han revelado sus escritos privados.<sup>30</sup>

Algo posterior a Paracelso, el médico inglés William Gilbert (1540-1603) puede considerarse como el típico sabio del siglo XVI, con un pie en la *Nuova Scienza* y otro en la filosofía neohermética. Veía la Tierra como un inmenso imán dipolar (lo que, de acuerdo a los conocimientos actuales, no deja de ser cierto) y también como la *Mater Communis* que gesta pacientemente en su seno los metales y los minerales. En su obra

---

<sup>28</sup> Laín Entralgo, P., *¿Qué es el hombre?*, Ediciones Nobel, Oviedo, 1999, pp. 15-16.

<sup>29</sup> Ver: Pauli, W., *Escritos sobre física y filosofía*, cap. 21 (“La influencia de las ideas arquetípicas en las teorías científicas de Kepler”), Debate, Madrid, 1996.

<sup>30</sup> Ver Teeter Dobbs, B.J., *Les fondements de l’Alchimie de Newton, ou “La chasse au lion vert”*, Guy Trédaniel, París, 1981.

*De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure physiologia nova* (1600) escribió: “Todos los globos, todas las estrellas e incluso la gloriosa Tierra han sido gobernados desde el principio por sus propias almas, y de ellas procede el impulso de autoconservación.”<sup>31</sup> Esta era también la concepción de Giordano Bruno.

Dentro también del paradigma panvitalista, Athanasius Kircher, a quien ya me he referido, publicó en 1665 una monumental obra, *Mundus Subterraneus*, que para el historiador francés de la ciencia Robert Lenoble es el primer texto de geología moderna.<sup>32</sup> He reseñado en el capítulo 2 las líneas generales del modelo de la Tierra de Kircher, y ahora añadiré que él consideraba el globo como una unidad orgánica a la que llamaba *geocosmos*, eslabón intermedio –y resonante en ambos sentidos– entre el macrocosmos (sistema solar, universo) y el microcosmos (ser humano). Kircher proponía una geofisiología basada en los cuatro elementos, con las cadenas de montañas representando el esqueleto terroso, con un complicado sistema de conductos ígneos –denominados *pirofilacios*– que cuenta con un corazón central y que alcanza la superficie a través de los volcanes, y con otros dos sistemas paralelos –aunque conectados– de agua (los *hidrofilacios*) y de aire (los *aerofilacios*). Dice Kircher:

Así fue congruo con la naturaleza señalar el centro de la Tierra como el lugar propio del fuego, de modo que desde este pirofilacio central se comunicase a otros pirofilacios superiores y a la superficie misma de la Tierra por medio de conductos subterráneos, porque la naturaleza de este elemento le lleva a dirigirse siempre de abajo arriba. El hecho de que este calor dure perennemente y que a pesar de tantas expiraciones no llegue a consumirse se debe a la continua pericíclosis [*los continuos ciclos recurrentes*] de la naturaleza: porque al ser el Geocosmos el globo terráqueo, del mismo modo que el fuego recibe del aire la vida y extrae del agua el necesario alimento, así también el fuego comunica fuerza y vida a los elementos acuoso y aéreo por medio de un comercio recíproco, de modo que no puede existir el uno sin el otro.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Citado por Sequeiros L. & Pedrinaci, E., “De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock” en *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 1999 (7.3), p. 191.

<sup>32</sup> Lenoble, R., *Esquisse d'une histoire de l'idée de nature*, Albin Michel, París, 1969; cit. en Sequeiros & Pedrinaci, “De los volcanes de Kircher...”.

Lovelock prefiere, aparentemente, no hacer referencia a sus antecesores renacentistas. Pero no deja de proclamar el entronque de su teoría con las concepciones geofisiologistas del pionero anglosajón de la ciencia geológica, James Hutton. En la Introducción de *Las edades de Gaia* dice Lovelock:

La idea de que la Tierra está viva probablemente es tan antigua como la humanidad. Sin embargo, la primera expresión de ello como un hecho científico fue impartida por el escocés James Hutton. En 1785 dijo, en una reunión de la Royal Society de Edimburgo, que la Tierra era un superorganismo y que su disciplina de estudio apropiada tendría que ser la fisiología. Continuó su discurso comparando los ciclos de los elementos nutrientes en el suelo y el movimiento del agua con la circulación de la sangre. James Hutton es recordado con justicia como el padre de la geología, pero su idea de que la Tierra estaba viva cayó en el olvido.<sup>34</sup>

Y fue asimismo con una amplia referencia al “Newton de la geología” (Tomkeieff, 1948) como Lovelock inició la exposición de su provocadora concepción en el importante debate monográfico sobre Gaia que organizó la American Geophysical Union en marzo de 1988.<sup>35</sup>

La idea de que el geofisiologismo huttoniano encuentra acomodo idóneo en la llamada *ciencia romántica* no ha sido, que yo sepa, planteada abiertamente hasta ahora, aunque sí que ha sido sugerida, en cierto modo, por McIntyre.<sup>36</sup> Tal entronque me parece, no obstante, obvio; y por lo demás el mismo no precisa que Hutton hubiese leído a los primeros románticos alemanes: en primer lugar, porque en el último cuarto del siglo XVIII la necesidad de una recuperación de diferentes intuiciones postergadas por las Luces “estaba en el aire” no sólo en Alemania; y en segundo lugar, porque tal inquietud difusa era especialmente acusada en Gran Bretaña, con un simbolismo

---

<sup>33</sup> Trad. de E. Sierra (1981) incluida en Sequeiros & Pedrinaci, “De los volcanes de Kircher...”, p. 190.

<sup>34</sup> Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, pp. 23-24.

<sup>35</sup> Ver Joseph, L.E., *op. cit.*, cap. IV (“La gran confrontación gaiana”).

<sup>36</sup> Ver capítulo 3 de la presente tesis, pp. 146 y 150-151.

metafísico y artístico tan notable como el que representa William Blake. Además no habría que echar en saco roto el *lado campesino* del agricultor James Hutton, que debía hacerle especialmente sensible a ese “geovitalismo espontáneo” que certeramente ha notado Lovelock, un rasgo compartido por numerosos *Naturphilosophen* enamorados del contacto directo con la naturaleza.

En todo caso, hojeando la documentada obra de Georges Gusdorf sobre la cultura filosófico-científica del Romanticismo<sup>37</sup>, uno no puede por menos que asombrarse del “olvido” (por parte del propio Lovelock, en primer lugar) de la que, sin la menor duda, aparece como una de las principales fuentes históricas de inspiración de la hipótesis Gaia (en su *versión fuerte*, si se quiere). Así, la inteligibilidad del *Totalorganismus* postulado por Heinrich Steffens, discípulo del padre de la geognosia neptunista, Werner, pasa por admitir que semejante entidad global “no ha alcanzado su completa realización o acabamiento: no podemos concebirlo sólo a partir de los animales y plantas que se ofrecen a nuestra vista.(...) Para abarcar la vida en su generalidad debemos considerar los elementos mismos como una envoltura viva de la vida vegetal y animal, como una vida que anima a un *ser viviente*.(...) El aire, la tierra y el mar se alimentan continuamente de los organismos que aparecen en su seno, al igual que les sirven, a su vez, de sustento.”<sup>38</sup> Mientras estudiaba geología en Freiberg, con Werner, Steffens publicó, en 1800, un extraño y sugerente libro de geo-filosofía titulado *Beiträge zur inneren Naturgeschichte der Erde* (Contribución a la historia natural *interior* de la Tierra) en el que, al decir de Gusdorf, se percibe su polarización entre Werner y Schelling. La tesis básica de esta obra no guarda relación directa con la teoría de Gaia, pero creo interesante recogerla de todos modos: el viaje geológico hacia el centro de la Tierra pone en marcha inevitablemente otro viaje, este espiritual, hacia el

---

<sup>37</sup> Ver Gusdorf, G., *Fondements du savoir romantique*, Payot, París, 1982. Y sobre todo: *Le savoir romantique de la Nature*, Payot, París, 1985.

<sup>38</sup> Steffens, H., *Anthropologie*, Bd. II, Breslau, 1822, p.17; cit. por Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 231.

centro de sí mismo. Pues la naturaleza oculta en sus recónditas profundidades – apostilla Gusdorf– el secreto de los procesos del espíritu.<sup>39</sup>

De un modo que hace pensar en las tesis epistemológicas de Edgar Morin, Gusdorf observa que “el organicismo romántico asegura la unidad de todos los aspectos de la realidad; una misma inteligibilidad debe prevalecer a todos los niveles de lectura.”<sup>40</sup> Y pasa enseguida a describir las propuestas de otro *Naturphilosopher* que, por lo demás, fue también un reputado investigador científico, Lorenz Oken (1779-1851), para quien

...la vida puede ser definida como el movimiento de lo finito, tal como resulta de la polaridad; pues la vida es un movimiento cíclico. La polaridad es un perpetuo retorno sobre sí mismo. Sin vida no hay ser. Nada existe por el solo hecho de su existencia, por ejemplo por su sola presencia; sino que todo aquello a lo que cabe atribuir el ser, no existe ni se manifiesta más que por su movimiento polar o, dicho en otros términos, por la vida. Ser y vida son conceptos indisociables. En la medida en que Dios obra, crea vida.<sup>41</sup>

Además, para este pensador: “La vida no es un hecho nuevo sobrevenido en el mundo después de la creación; es más bien algo originario..., es una idea, un pensamiento divino en movimiento, el acto originario mismo con todas sus consecuencias.”<sup>42</sup> De donde él extraía una inevitable conclusión: “En el mundo, todo está vivo; el mundo mismo está vivo, y si permanece, si se conserva, es porque está vivo, lo mismo que un cuerpo orgánico no se conserva más que porque se produce de nuevo, sin cesar, por el proceso vital.”<sup>43</sup> El panvitalismo de Oken (¿ingenuo...?) desemboca de la manera más natural en la siguiente definición de la geología: “Es la

---

<sup>39</sup> Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 242. Edgar Morin dice, por su parte: “Hemos de reencontrar la Naturaleza para volver a encontrar nuestra propia naturaleza, tal como lo sintieron los románticos, auténticos guardianes de la complejidad durante el siglo de la gran Simplificación.” (*La méthode*, t. 1, p. 373).

<sup>40</sup> Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 243.

<sup>41</sup> Oken, L., *Lehrbuch der Naturphilosophie*, 3ª ed., Zurich, 1843, § 87, p. 19; cit. por Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 243.

<sup>42</sup> *ibid.*, § 88, p. 19; cit. por Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, pp. 243-244.

<sup>43</sup> *ibid.*, § 90, p. 19; cit. por Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 244.

doctrina de la constitución del planeta, de su forma, de sus órganos y de sus miembros, si se está dispuesto a compararlo con un organismo vivo.”<sup>44</sup>

Los autores citados no son desde luego los únicos *Naturphilosophen* que se refirieron a la Tierra en términos de organismo. Habría que citar también, entre otros muchos, a J.W. Ritter (“el esquema fisiológico del individuo es el esquema fisiológico de la Tierra”, 1810), a G.H. Schubert (“la naturaleza llamada inorgánica encierra un impulso que se cumple como vida”, 1808) e incluso a Goethe, que manifestó, en repetidas ocasiones, su apoyo a las tesis geovitalistas que eran sometidas a su consideración.

Si bien me parece que las citas anteriores ponen de manifiesto la existencia de un efectivo vínculo conceptual entre la *Naturphilosophie* y la hipótesis Gaia, pienso también que la diferencia sustancial en cuanto a los modos de acceso a la concepción de una “Tierra orgánica”, desde la filosofía romántica, por un lado, y desde la reflexión desarrollada por Lovelock, por otro, resalta igualmente, a partir de ellas, con singular claridad. Aquellos pensadores de hace casi dos siglos partían de una vívida *intuición estética* que les orientaba hacia una visión integralista y teleológica del planeta en tanto que macroobjeto marcado por la presencia determinante de la vida. Lovelock, en cambio, construyó su hipótesis basándose en deducciones que contaban con una sólida fundamentación empírica (como que la vida hace que la atmósfera terrestre se mantenga en equilibrio dinámico). Vale decir que Lovelock es desde luego un científico, mientras que puede discutirse, muy legítimamente, que la actitud espiritual que definía a la *Naturphilosophie* fuese científica. Aceptando que la debilidad metodológica de que adolecían en su mayoría los “científicos románticos” puede justificar la resistencia generalizada a considerarlos científicos verdaderos, se debería admitir al menos que sus visiones sintéticas tenían con frecuencia el carácter de propuestas conjeturales de notable coherencia, susceptibles de abrir camino a futuras exploraciones. Sólo por eso son ya, en mi opinión, dignos de respeto y de estudio.

---

<sup>44</sup> *ibid.*, § 545, p. 101; cit. por Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, p. 244.

Hay que dar un considerable salto en el tiempo para encontrar más antecedentes claros de la hipótesis Gaia. En el siglo XX, los dos principales –señalados por bastantes historiadores de las ciencias de la Tierra– son el ruso Vladimir Vernadsky y el francés Pierre Teilhard de Chardin. De estos dos pensadores, Lovelock reconoce abiertamente al primero como predecesor suyo.<sup>45</sup> Vernadsky (1863-1945) es el máximo impulsor del concepto y término de *biosfera*<sup>46</sup> que implica la sustitución del tradicional atomismo biológico por una nueva concepción del fenómeno de la vida terrestre como una especialísima geosfera (de hecho, como *ecosfera*, tal como oportunamente puntualizan Anguita y Arsuaga<sup>47</sup>). Según Lovelock, la mayor influencia que recibió Vernadsky en su juventud fue la de su primo –de mayor edad– Y.M. Korolenko, un típico *científico romántico* autodidacta que estaba convencido de que la Tierra era un organismo vivo.<sup>48</sup>

La visión del mundo de Teilhard de Chardin es citada con frecuencia como próxima a la gaiana, por los historiadores latinos (no solamente franceses) de las ciencias de la Tierra. Aunque la relativa incomunicación de las culturas nacionales, y en concreto de la anglosajona y la francesa, podría invocarse como la razón principal por la que Lovelock no menciona a Teilhard, yo creo que ello también puede ser debido a que realmente la conexión no resulta tan clara, pues yo mismo tengo reservas importantes sobre los supuestos estrechos vínculos entre la concepción de Gaia y el pensamiento del sabio jesuita. Mis reservas se basan en la constatación de las muy distintas visiones geológicas, a nivel global, de Teilhard y de los sostenedores de la hipótesis Gaia. Pues, en efecto, a Teilhard de Chardin se debe la reflexión siguiente:

---

<sup>45</sup> Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, pp. 23-25.

<sup>46</sup> Aunque no fue Vernadsky el primero en concebir y nombrar la biosfera, sino el geólogo Eduard Suess en 1875. Ver Lamotte, M. & Duvigneaud, P., “Biosphère” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, vol. 4, pp. 193-195.

<sup>47</sup> Anguita, F. & Arsuaga, J.L., “¿Es Gaia una teoría adelantada a su tiempo...?”, p. 198, nota 3.

<sup>48</sup> Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, p. 23.

En la multitud de cosas que forman el mundo, el estudio del grado de complejidad permite en primer lugar distinguir y separar entre sí lo que pudiera llamarse “las auténticas unidades naturales” (las que cuentan) de las pseudo-unidades accidentales (que no cuentan). El átomo, la molécula, la célula, el ser vivo, son unidades *auténticas*, porque al mismo tiempo son compuestas y centradas. Por el contrario, una gota de agua, un montón de arena, la Tierra, el Sol, los astros en general, por múltiples o compuestos que sean en su edificio, no parecen poseer organización alguna, ninguna “centridad”. Sea cual fuere la majestuosidad de su talla, son sólo unidades falsas, agregados más o menos dispuestos por orden de densidad.<sup>49</sup>

Vemos, pues, que Teilhard consideraba la Tierra como un simple agregado de materia y no como un sistema, haciendo extensivo su juicio al Sol y a las estrellas. ¡Estaba, por tanto, a mil leguas de concebir nuestro planeta como una entidad orgánica! Otra cosa es que lo identificase, de acuerdo a su conocida visión metafísica, como el *topos* indiscutible de la vida, esa “complejidad verdadera” llamada a manifestar el espíritu en el universo.

Es interesante comparar a Teilhard de Chardin con Kircher. Ambos, separados por una distancia temporal de tres siglos, fueron investigadores apasionados de la naturaleza desde ópticas que integraban aspectos religioso-metafísicos no totalmente acordes con la ortodoxia católica, por más que ambos fuesen asimismo miembros de la Compañía de Jesús. Y ambos se ocuparon de la Tierra. Pero existen diferencias importantes entre ellos, aparte de las que, lógicamente, introducen los muy distintos contextos históricos: Teilhard era más riguroso (¿por simple exigencia de los tiempos?) pero también más místico que Kircher; éste, en cambio, era más organicista, más “sistémico”, que Teilhard, al menos en lo que a nuestro globo se refiere, y es por esto que aparece a nuestros ojos como un antecedente mucho más claro de Gaia.

---

<sup>49</sup> Teilhard de Chardin, P., *El porvenir del hombre*, Taurus, Madrid, 1962, p. 131.



#### **5. 4. Gaia, entre nuevo paradigma y tradición ancestral**

Al considerar la fuerte reacción negativa que inicialmente tuvieron la mayoría de los científicos frente a la hipótesis Gaia, se aprecia de entrada una posible causa extrarracional<sup>50</sup>: la detección de rasgos extraños a la tradición científica (cartesiana, para mayor precisión) en la fisonomía de la concepción que se les presentaba. Yo llamaría *heterotradicionalismo* a la inclusión de nociones y de presupuestos ontológicos, metafísicos y, en general, filosóficos “extraños” (en el sentido de ajenos, de pertenecientes a otras tradiciones), en un discurso que se dirige a los miembros de una tradición cultural determinada. Ciertamente el término “heterodoxia” también podría servir pero, por un lado, su utilización suele ceñirse a las doctrinas religiosas, y por otro carece de la connotación temporal –diría, incluso, que *fluvial*, asumiendo la afortunada metáfora de Gilbert Durand<sup>51</sup>– que sí tiene, en cambio, “heterotradicionalismo” (ignoro, por lo demás, si esta palabra ha sido ya utilizada).

En el repaso que acabamos de hacer de los antecedentes de la hipótesis –o teoría, como ellos insisten últimamente en designarla– de Lovelock y Margulis, hemos visto que, en general, se enmarcan en corrientes de pensamiento y sensibilidad que pueden considerarse rivales de la tradición cartesiana. Seguramente se discutirá que tal afirmación sea aplicable a los antecedentes griegos, por remotos y rodeados de un aura de universalidad, pero casi todo el mundo estará de acuerdo con ella en lo que se refiere al neoplatonismo renacentista y a la *Naturphilosophie* romántica, ligados entre sí por canales diacrónicos subterráneos que diversos analistas de la historia de la cultura occidental, como Gusdorf y el propio Gilbert Durand, han puesto de relieve. A continuación intento resumir (cuadro 3) las claves de la tensión, que situaré en dos niveles: ontológico y epistemológico.

---

<sup>50</sup> Que no *irracional*.

<sup>51</sup> Ver: Durand, G., *Introduction à la mythodologie*, ch. VI (“La notion de «bassin sémantique»”).

<b>Tradición cartesiana</b>	<b>Tradición renacentista-romántica</b>
<b>1. <u>Nivel ontológico</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énfasis en la pluralidad (atomismo)</li> <li>• Disociabilidad mecánica</li> <li>• Énfasis en la materia. Evolución desde el dualismo hasta el monismo materialista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énfasis en la unidad (holismo)</li> <li>• Integralismo organicista</li> <li>• Énfasis en la consciencia</li> </ul>
<b>2. <u>Nivel epistemológico</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vía cognitiva basada en el análisis, que se orienta a reducir a elementos simples</li> <li>• Lógica formal (y su correlato matemático) como único instrumento cognitivo válido</li> <li>• Necesidad estricta de fijar un método</li> <li>• Posibilidad de acabamiento cognitivo racional</li> <li>• El camino al conocimiento implica una puesta entre paréntesis de la afectividad</li> <li>• Necesaria abstracción del sujeto en toda vía válida al conocimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vía cognitiva basada en la intuición sintética de “todos” irreductibles</li> <li>• La analogía y sus correlatos, la metáfora, la poesía y la imagen, son también instrumentos válidos</li> <li>• Ametodismo o bien pluralismo metodológico</li> <li>• Imposibilidad de un acabamiento cognitivo puramente racional</li> <li>• La sensibilidad afectiva complementa (o completa) el conocimiento</li> <li>• Imposibilidad de abstraer el sujeto. Autoconocimiento implicado en el conocimiento</li> </ul>

Cuadro 3

Es evidente que las diferencias que se señalan traducen otras aun más profundas, metafísicas y axiológicas. Se diría que la apuesta metafísica fundamental de la tradición científica que arranca de Descartes y de Newton, es doble: por la *legalidad* (con “legislador”, en el origen de la tradición, y sin él después) y por la *materia*, entendida –en sentido más filosófico que científico– como el sustrato inconsciente del que todo procede y que todo lo fundamenta, apreciándose también en este punto una clara evolución desde el dualismo de los iniciadores modernos de la tradición, con Descartes a la cabeza, hasta el monismo materialista en el que la misma se ha instalado desde el siglo XIX. En cuanto a la otra corriente, da por descontado un fundamento del universo que no es totalmente extraño a la consciencia; un fundamento que puede o no identificarse con Dios en el sentido judeocristiano. De ahí que la Naturaleza posea una *orientación teleológica*, un sentido, por más que éste sea eventualmente muy difícil –o incluso imposible– de racionalizar o incluso de conocer. Por otra parte, la regularidad se presenta problemática: el *orden romántico* no es matemático-geométrico sino narrativo-significativo (algunos historiadores del romanticismo, como Gusdorf, subrayan que el término mismo de “romanticismo” deriva de *roman*, novela) y se origina recursivamente a partir del caos, en concordancia con los mitos genésicos presentes en la remota raíz pagana de esta tradición.

Las axiologías que sustentan a una y otra tradición tienden a oponerse. Por el lado de la tradición cartesiana tenemos una notable simplificación, ya que solamente el logro del conocimiento objetivo se reconoce como valor (interno, se entiende), a diferencia de lo que sucede por el otro lado, desde donde se contempla todo un complejo axiológico cuyo núcleo consistiría en el logro de la integración armoniosa del sujeto, así interiormente (madurez, sabiduría) como exteriormente (correcta resituación del ser humano en la Naturaleza). El monismo axiológico cognitivista de la tradición cartesiana tiene además como consecuencia el rechazo de (o una gran desconfianza hacia) las restricciones éticas que afectan a los procedimientos prácticos orientados a la obtención de conocimiento acerca del mundo, en tanto que la admisión por la tradición romántica de una multiplicidad de valores, cognitivos y extracognitivos, propicia las

posturas limitativas en relación a aquellos aspectos experimentales y tecnológicos de la ciencia que aparecen susceptibles de generar sufrimiento y disarmonía; de ahí, también, la prevención de los *Natuphilosophen* hacia la disociación metódica (“destruye entidades reales”, “provoca dolor”...), que contrasta con el entusiasmo de los científicos cartesianos por ese género de experimentos. Para terminar, yo diría que ambas tradiciones poseen objetivos implícitos –e incluso, en alguna medida, explícitos– que contrastan fuertemente entre sí: la tradición de la ciencia moderna, apoyándose sin duda en ese otro gran pilar suyo que es el baconiano (que complementa al cartesiano), busca una explicación / formulación *operativa* de los procesos que permita la manipulación de la Naturaleza por unos seres humanos concebidos como esencialmente separados de ella; en cambio, la otra tradición se interesa más bien en la comprensión<sup>52</sup> del modo como el ser humano se integra en “todos mayores” de los que el principal es la Naturaleza.

La justificación de la hipótesis Gaia en la comunidad científica está, desde el principio, fuertemente condicionada por el heterotradicionalismo que señalo, un “pecado original” que no suele perdonar ni la ciencia institucional ni, a decir verdad, corriente cultural alguna. Pero toda regla puede conocer alguna excepción, y el atractivo de la transgresión, en el caso que nos ocupa, es fuerte... Una anécdota ilustrará bien lo que quiero decir: refiere Peter Westbroek<sup>53</sup> que, al término de un coloquio internacional sobre Gaia celebrado en Oxford en los años ochenta, James Lovelock planteó que a la vista de las abundantes y acerbas críticas que le llovían en relación con el nombre de su teoría, y a la vista también de su apropiación por la *New Age*, él personalmente estaba decidido a retirarlo, sustituyéndolo por la denominación exclusiva de geofisiología, más aceptable para cualquier científico. Pero entonces ocurrió algo sorprendente: varios participantes en el simposio, incluidos algunos de los que habían criticado el *panpsiquismo implícito* en el nombre de Gaia, manifestaron

---

<sup>52</sup> Diferencia entre *explicación* y *comprensión*, señalada por Dilthey y retomada, entre otros, por Edgar Morin (*La méthode*, vol. 3).

<sup>53</sup> Westbroek, P., *Vive la Terre! Physiologie d'une planète*, Le Seuil, París, 1998, p. 192.

que... finalmente sería una verdadera pena que una denominación tan bella y expresiva se perdiese, por lo que rogaban a Lovelock que la conservara, cosa que el británico hizo finalmente, y que no parece que vaya a cambiar a corto plazo, por más que se hable también, en paralelo, de geofisiología.

Su mismo entronque indudable con tradiciones enraizadas en mitologías que despliegan remotas intuiciones nos lleva ya a percibir la hipótesis Gaia como una formulación de carácter paradigmático. Sigo en lo concerniente a esta noción a Edgar Morin, autor que desarrolla, a mi modo de ver, con mayor hondura que Kuhn ese, hoy por hoy, ineludible concepto de paradigma que el epistemólogo austriaco puso en circulación, hace cuatro décadas, con fortuna considerable.

De cara a apoyar la afirmación de que la hipótesis Gaia encierra un núcleo paradigmático, importa mucho fijarse en qué tipo de heurística ha puesto en marcha. Ésta, *vinculada estrechamente al desarrollo de la ecología global*, se relaciona tanto con el estudio de los ciclos geoquímicos en los diferentes medios (terrestre a distintos niveles, oceánico, atmosférico y mixto) como con el de los balances energéticos (recepción de calor solar / irradiación térmica, sobre todo); sin olvidar otros puntos de incidencia de gran interés, tanto por aquello a lo que positivamente apuntan como por lo que ponen en tela de juicio: revisión de la separación cuasi estanca entre las geosferas y la biosfera, exclusividad de los mecanismos darwinianos de cara a la evolución de la biosfera, estimación del grado de integración de ésta, y –seguramente el punto principal de todos– necesidad de afrontar en profundidad la cuestión, siempre esquivada y aplazada, de la definición de la vida, o -eventualmente- de superarla, aunque no reductivamente, “hacia abajo”, sino “hacia arriba”, ampliando la perspectiva por el camino de entender la realidad como imbricación de niveles múltiples de irresoluble complejidad (presente, por lo demás, *desde la base*, pues no existe ninguna “simplicidad fundamental”<sup>54</sup>), como una *holarquía*<sup>55</sup> de sistemas en interacción, en la que la vida orgánica “clásica” constituye un escalón y Gaia otro.

---

<sup>54</sup> Ver 1. 5.

<sup>55</sup> Tyler Volk, *op. cit.*, pp. 60-65. El término “holarquía” se debe a Arthur Koestler.

Últimamente se ha destacado –incluso desde ámbitos que habían manifestado con anterioridad fuertes recelos hacia ella– la fecundidad heurística de la hipótesis Gaia. Pero no es esto lo que quiero poner ahora de relieve, sino qué clase de líneas concretas de despliegue son las que Gaia favorece. Me parece que todas presentan una fisonomía muy precisa: no es que los estudios gaianos no promuevan el análisis, pero éste está siempre al servicio de la consecución de una síntesis holística; no es que nieguen la selección natural, sino que proponen explorar su integración en otros modelos evolutivos más generales basados en la posibilidad de que las innumerables dinámicas “individualistas” hagan emerger –contando con los ciclos autoorganizativos que se instalan– una dinámica global; no es que cuestionen los instrumentos o los conceptos que las disciplinas científicas clásicas ponen a su disposición, sino que la alta valoración que conceden a los mismos queda matizada tanto por la utilización fundamentalmente interdisciplinar que hacen de ellos como por una profunda convicción subyacente, la de que la vida orienta *por y para sí* numerosos procesos de la geodinámica externa y tal vez algunos de la interna. Una vida que –sugieren los gaianos– puede incluso ser “más que la vida”<sup>56</sup>, abarcar incluso más que el nivel biológico clásico, y llegar a solaparse con la dinámica autoorganizativa de un posible *nivel coherente de realidad* de escala planetaria. Por ahí va una frase que parece haber hecho fortuna entre los participantes en la corriente gaiana y que transcribe Tyler Volk: “Una célula es una célula, un organismo es un organismo, Gaia es Gaia.”<sup>57</sup>

Me parece, a la vista de todo esto, que una concepción paradigmática de carácter antimecanicista y holista se transparenta, sin el menor género de duda, tras la heurística de Gaia.

---

<sup>56</sup> Orgánica “clásica”, se entiende.

<sup>57</sup> Lee Minger, citado por Tyler Volk, *op. cit.*, p. 66.

## 5. 5. Metodología gaiana

¿Puede hablarse de un método de investigación característico de la hipótesis, o teoría, de Gaia? Pienso que sí, ya que la necesidad permanente de verificar dinámicas cíclicas de distintos tipos, ciclos de materia y/o energía que se multi-interrelacionan y que establecen retroacciones, emparenta clarísimamente la actitud metodológica gaiana típica con el *método de la complejidad* que propone Edgar Morin. Dejo para más adelante la ilustración de esta convergencia mediante la descripción de las líneas de trabajo que desarrollan actualmente diversos especialistas en geofisiología, disciplina resucitada por Lovelock que cuenta ya con programas universitarios estables<sup>58</sup>. Tales descripciones mostrarán cómo las recogidas exhaustivas de datos y los análisis cuantitativos minuciosos son profusamente empleados, en el contexto de la investigación gaiana, para poner de relieve -y eventualmente ajustar- intrincadas ciclicidades que parecen diseñadas adrede para ejemplificar la presencia constitutiva de la complejidad en el dominio biogeológico. Los gaianos no citan, que yo sepa, a Edgar Morin, aunque sí hacen referencia, de forma genérica, al tema de la complejidad.<sup>59</sup> En contraste, el filósofo galo sí que se refiere, por su parte, a la hipótesis Gaia. En el tomo 2 de *La méthode*, encontramos la siguiente nota:

Lo inferior hace vivir a lo superior, que a su vez hace vivir a lo inferior. Esto es verdad para el organismo eucariota que integra en él a su ex-parásito / simbiote procariota en forma de

---

<sup>58</sup> Como en la Universidad de Leiden (Holanda), con Peter Westbroek como responsable.

<sup>59</sup> Por ejemplo, Tyler Volk: “Gaia existe por su nivel único de reglas de funcionamiento, un nivel sin duda tan complejo como el de los organismos, y por tanto digno de contar con su propia ciencia, a la que Jim Lovelock denomina *geofisiología*.” (*Gaia toma cuerpo*, p. 9). “En revistas como *Microbial Ecology*, *Agroforestry Systems*, *Global Biogeochemical Cycles* y *Plant Systematics and Evolution*, por nombrar sólo unas pocas entre centenares, hay tanto que parece potencialmente relevante para la geofisiología que uno se siente tentado a murmurar, como Kurtz: «El horror, el inmenso horror» o «la complejidad, la inmensa complejidad». Sólo la dinámica del sistema de la fotosíntesis expuesta en este capítulo puede resultar abrumadora...” (*ibid.*, p. 41).

cloroplastos o de mitocondrias. Esto es verdad también en el caso del organismo pluricelular que hace vivir a las miríadas de células que lo constituyen, las cuales le hacen vivir. Desde una perspectiva más amplia, todo el juego energético de la biosfera se establece entre los procariotas integrados en las células vegetales que, transformados en cloroplastos, organizan reacciones reductoras que generan oxígeno, y los procariotas que forman parte de las células animales, los cuales, como mitocondrias, organizan la oxidación que produce el dióxido de carbono. Se ha podido así emitir la hipótesis grandiosa de que, en tal sentido, toda la biosfera es un vasto *self-producing system* a partir de las actividades de los procariotas integrados en los universos vegetal y animal (Lovelock, Margulis)...<sup>60</sup>

Otros también han notado la conexión de la teoría de Gaia con el “método de la complejidad”. Así, Jean-Louis Le Moigne escribe: “El paradigma de la organización compleja (antropo-bio-cósmico) que Edgar Morin propone establecer, permite presentar en una *unitas multiplex* las diversas concepciones de la complejidad que han ido desarrollando progresivamente las distintas disciplinas a partir de la propuesta de W. Weaver: [entre otras...] las «nuevas ciencias naturales», de la ecología a la geofisiología (P. Westbroek)...”<sup>61</sup>

## **5. 6. Los contextos de Gaia**

Lo visto hasta ahora nos permite ya contextualizar la concepción gaiana y las reacciones que ha provocado. Es bien conocida la distinción clásica, debida a Reichenbach (1938), entre un *contexto de descubrimiento* y un *contexto de justificación*. A mi modo de ver, la distinción de Reichenbach conserva validez más

---

<sup>60</sup> Edgar Morin, *La méthode*, t. 2 (*La vie de la vie*), p. 43, nota 1.

<sup>61</sup> Le Moigne, J.-L., “Complexité” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, p. 212.



allá del marco filosófico —el del positivismo lógico— en el que se generó, un marco en coherencia con el cual el propio Reichenbach consideraba desprovisto de interés epistemológico el contexto de descubrimiento (una postura que no comparto en absoluto).

Entre nosotros, Javier Echeverría ha propuesto sustituir los dos contextos “heredados” por otros cuatro: *innovación, evaluación, educación y aplicación*.<sup>62</sup> En mi opinión, los dos últimos son de todo punto ineludibles. Dejando a un lado el contexto de innovación (que coincidiría en buena medida con el de descubrimiento, de no ser por la crítica implícita a las connotaciones platónicas del término, que excluirían la invención), pienso que el contexto de evaluación puede ser reemplazado con ventaja por otro que echo claramente en falta: el de *recepción*. Entiendo por contexto de recepción de una propuesta teórica a todo cuanto se refiere a las reacciones desencadenadas en la comunidad científica (con consideración explícita a sus distintos sectores y grupos disciplinarios), por un lado, y en la sociedad (distinguiendo también en ella, eventualmente, grupos o estamentos), por otro, ante la formulación pública de la propuesta en cuestión; debiendo también integrarse, claro está, en este contexto todo lo tocante a la evolución ulterior de tales reacciones. La diferencia principal entre el contexto de recepción y el de evaluación, concierne a la extensión del sujeto que reacciona: ¿quién recibe y quién evalúa? En cuanto a lo primero, en último extremo la sociedad, y en cuanto a lo segundo, una comunidad cualificada que habría, por lo demás, que delimitar (¿sólo los especialistas, o bien la comunidad científica al completo, o acaso un estamento intermedio?). Ahora bien, la recepción comprende la evaluación estrictamente científica como una de sus componentes (y distingue en ella, además, matices disciplinares, otros ligados a las tradiciones de investigación en presencia, etc.), pero no se reduce a ella, ya que la sociedad también tiene algo que decir ante cada nueva propuesta teórica. Y más aun ante las que son susceptibles de impulsar cambios en la concepción general del mundo y/o en las actitudes prácticas de la sociedad. Esto ha tenido especial relieve, históricamente, en el caso de las

---

<sup>62</sup> Ver Echeverría, J., *Filosofía de la ciencia*, Akal, Madrid, 1995.

ciencias de la Vida y de la Tierra, en donde tradicionalmente ha existido una recepción compleja, no sólo científica sino también social, de las grandes teorizaciones, desde la concepción de un planeta con muchos millones de años hasta la deriva de los continentes, de la teoría de la evolución a la hipótesis Gaia...

Quisiera anticiparme a una posible crítica: la de que admitir un contexto de recepción como el propuesto supone poner en pie de igualdad reacciones racionales (las de los científicos) y otras que no tienen por qué serlo (las generadas en el seno de la sociedad). Pero la cuestión es que ni todas las reacciones de la comunidad científica son cien por cien racionales (y la historia de las ciencias de la Tierra suministra ejemplos de esto), ni las reacciones surgidas en el seno de la sociedad están desprovistas de interés cognitivo, puesto que, al menos en parte, pueden reflejar una cierta percepción (contando con una “preparación” menor, pero también desde una “distancia” e “independencia” mayores) del grado de coherencia de la teoría, así como de sus posibles consecuencias ético-práxicas, etc. En todo caso, estas reacciones nos indican que el cierre del mundo en el que viven los científicos no es total, y sólo por eso son ya importantes.

El contexto de descubrimiento de la hipótesis Gaia queda excepcionalmente bien ilustrado por las declaraciones del propio Lovelock, y conviene resaltar asimismo el tema recurrente –que recogen numerosos partidarios de la hipótesis– de la inspiración proporcionada por la visión real de la Tierra como objeto cósmico unitario que transmite una impresión de vida. Westbroek, por ejemplo, dice al respecto:

Hace treinta años, cuando los seres humanos pisaron la Luna, fue como si se miraran en un espejo por primera vez. (...) Lo que vimos entonces era nuestro hogar, nuestro único país natal, girando majestuosamente solo en el espacio infinito. Hace más de cuatro mil quinientos millones de años, este cuerpo celeste nació del polvo interestelar, y muy pronto empezó a vivir. (...) Las vistas de nuestro planeta, transmitidas por la misión Apolo en 1969, transformaron el corazón de miles de millones de personas.

Esta fuerte impresión pronto empezó a difuminarse, pero sólo hasta que el inventor James Lovelock fijó su esencia en un nuevo e imaginativo concepto [*Gaia*], y ello tanto para la ciencia como para el mundo en general.<sup>63</sup>

Parece claro que la justificación de Gaia ante la comunidad científica está, desde los años 70, condicionada por el aroma heterotradicionalista que la concepción desprende y que ha sido señalado. Prueba de ello es que los gaianos mantienen un discurso que no deja de ser ambiguo, en relación al conflictivo término “Gaia”. Así, Westbroek mismo decía en 1997, en una entrevista concedida a *La Recherche / Mundo Científico*, que “[*geofisiología*] es otra palabra para la idea de Gaia lanzada por James Lovelock, pero se ha eliminado la palabra “Gaia” porque ha sido acaparada por la *New Age* y está contaminada para la ciencia.”<sup>64</sup>

En todo caso, la justificación teórica y experimental de Gaia / geofisiología global se desarrolla hoy de manera cada vez más centrada, y a buen ritmo. Se basa, ante todo, en la convergencia, ya citada, de la nueva visión autoorganizativa de la Tierra con los trabajos de modelización de dominios complejos. Es lo que algunos llaman *la segunda revolución copernicana* protagonizada por nuestro planeta.<sup>65</sup>

Dentro del ámbito científico, las estrategias de justificación están íntimamente relacionadas con la recepción, de modo que ambos contextos mantienen un apretado diálogo. Los trataré, pues, a continuación conjuntamente en lo que a dicho ámbito se refiere. La hipótesis de Lovelock, hecha suya enseguida por Margulis, puso desde el principio de relieve la pluralidad interna de la ciencia, desde el momento que la acogida inicial que obtuvo fue –más allá del nerviosismo un poco desconcertado del conjunto de la comunidad– bastante diversa. Todo el mundo parece estar de acuerdo en que se formaron enseguida tres bloques: 1. Los especialistas en la atmósfera, los

---

<sup>63</sup> Peter Westbroek, texto de presentación de *The Gaia Science Center for Biogeology* (Amsterdam), fundado el 16 de octubre de 1999 (*página web*).

<sup>64</sup> Westbroek, P., “¿Es la Tierra un superorganismo?”, *Mundo Científico*, 178, 1997, p. 378.

<sup>65</sup> Ver Schellnhuber, H.J., “Earth system analysis and the second Copernican Revolution”, *Nature*, 402, 1999, C19-C23.

oceanógrafos, los científicos de las nuevas disciplinas del caos y la complejidad, y –en menor medida– los ecólogos, se mostraron en principio bastante abiertos a la nueva concepción; 2. Los geólogos, más que posicionarse verdaderamente a favor o en contra, tendieron a ignorarla; 3. Los biólogos, casi en bloque, adoptaron una postura firmemente, e incluso virulentamente, adversa; los geoquímicos también estuvieron en contra.<sup>66</sup>

Interesa ahora especialmente referirse a la indiferencia inicial de los geólogos y al rechazo de los biólogos.<sup>67</sup> En lo que se refiere a los primeros, su postura era comprensible por dos razones: La primera es que la geología se contemplaba como una disciplina cuyos objetos paradigmáticos más generalmente asumidos eran el *mineral* y la *roca*, a pequeña escala, y el *estrato* y la *estructura tectónica*, a escala intermedia, pero en ningún caso el organismo (aunque los estratos contengan restos de organismos); digamos que el geofisiologismo de Hutton se había olvidado por completo. La segunda es que esa misma geología se encontraba en plena digestión de su recientísima revolución interna de la tectónica de placas, ¡y no era cuestión de complicar todavía más las cosas con *otra* teoría de pretensiones paradigmáticas! El hecho es que, de cara a los científicos “clásicos” de la Tierra, la justificación de Gaia pasa por entender que la hipótesis geofisiológica tiene algo que decir sobre la paleoclimatología y sobre las historias sedimentaria, edafológica, oceánica y atmosférica del planeta. Pasa también por percibir la verosimilitud de una cierta influencia del fenómeno global de la vida –con toda la cadena de circunstancias medioambientales y fisico-químicas que condiciona– sobre la tectónica de placas, en el

---

<sup>66</sup> Este es un resumen del panorama de la multiplicidad de opiniones frente a Gaia que ofrece L.E. Joseph en *Gaia. The growth of an idea* (trad. esp.: *Gaia. La Tierra viviente*, Cuatro Vientos, Santiago de Chile, 1992).

<sup>67</sup> Indiferencia y rechazo sugeridos por Lovelock en estos términos: “Muchos geólogos han ignorado la presencia de organismos vivos como participantes activos, en sus teorías de la evolución de la Tierra. La contrapartida de esta discriminación geológica es la incapacidad de muchos biólogos para darse cuenta de que la evolución de muchas especies está estrechamente asociada a la evolución de su medio ambiente.” (*Las edades de Gaia*, p. 44).

sentido de hacerla posible o de facilitarla a través de determinados *feedbacks*. Este último punto se desarrollará en el próximo capítulo.

Mayor alcance filosófico tiene, a mi modo de ver, el rechazo de Gaia por los biólogos. De hecho, son ellos principalmente los que han desplegado la gran batería de críticas, no tanto de detalle (*¿en qué medida tal sedimentación oceánica es realmente biogénica?*) como de fondo (*la afirmación de que la Tierra es un organismo vivo es absurda*), que ha prevalecido a nivel institucional durante un buen cuarto de siglo. Las críticas de los biólogos pueden sintetizarse en dos:

1. La Tierra no puede ser un organismo vivo porque no cumple los criterios que definen lo viviente.
2. Los organismos individuales, taxones y ecosistemas terrestres no pueden ponerse de acuerdo para integrar una entidad global. Y tampoco es lógico que se comporten de manera altruista.

La primera de tales críticas presupone que se cuenta con una definición satisfactoria de la vida. La segunda, que se asume que cualquier comportamiento globalmente coherente, y dotado de propósito aparente, sólo puede fundarse en un *acuerdo consciente* de entidades-partes, que tienen que tener -lógicamente- capacidad psíquica para ello. Merece la pena ocuparse con la debida profundidad de estas dos asunciones implícitas.

1. Los científicos que estudian los fenómenos orgánicos suelen dar a entender que la vida queda totalmente descrita por una serie de rasgos (automantenimiento y auto-reparación, capacidad de reproducirse, evolución mediante mecanismos selectivos, etc.). Pero ni la completitud de la lista de tales características está clara, ni la absoluta relevancia de todos los rasgos que se suelen incluir lo está tampoco. Es por eso que renuncio a transcribir aquí, formalmente, ninguna de las listas de rasgos definitorios de lo viviente que se han propuesto, limitándome a retener aquéllos que, por mi parte, considero verdaderamente esenciales:

– Ante todo, el hecho de que los organismos, tanto individualmente considerados como atendiendo a los grupos taxonómicos y ecosistemas que forman, *no parecen* estar sometidos al rígido imperativo de la segunda ley de la termodinámica que constata el aumento continuo de la homogeneización térmica y del desorden (entropía creciente). Sólo cuando un organismo muere, o cuando un ecosistema se degrada hasta la total desertización, pasa a sufrir, sin restricción alguna, la degradación que prevé la segunda ley. Tanto el medio interno de un organismo, que ya describiera Claude Bernard, como la unidad integral u holística que le caracteriza, son cosas que se derivan del peculiar modo en que los seres vivos incrementan su orden interno con relación al medio ambiente.

– Las formas y estructuras vivas no son fabricadas respondiendo al plan de ningún constructor, sino que son *autogenerativas*: se fabrican a sí mismas. Ningún relojero ha montado ni puesto en marcha la “maquinaria” de la vida. Digamos que una máquina, del reloj al ordenador, *no es* (ni funciona) *para sí*, sino sólo *para otro*, al contrario de lo que ocurre con cualquier ser vivo, hasta el más elemental. Esto nos lleva a un rasgo sorprendente de las cosas vivas, fuente interminable de controversias científico-filosóficas: su semblante teleológico<sup>68</sup>, el hecho de que cualquier entidad biológica se mueve guiada por el propósito de sobrevivir con el máximo “bienestar” (homeostasis) posible, y de reproducirse.

– En todo organismo biológico se produce, al cabo de un cierto tiempo, la renovación completa de su materia constitutiva, merced a los procesos dinámicos que permanentemente tienen lugar en su seno, y que se identifican con su metabolismo.

Yéndome al extremo contrario, yo destacaría también lo que encuentro más accesorio en las definiciones usuales de la vida.

De entrada, la *historicidad*. Pues la flecha del tiempo, que durante más de un siglo se había venido poniendo en relación exclusiva con la vida, hoy se sabe que pertenece también al universo, el cual posee un origen basado en una singularidad irreversible, y

---

<sup>68</sup> Del cual Jacques Monod cree poder dar completa cuenta apelando al término “teleonomía”.

cuenta con etapas concretas de desarrollo o evolución. Las estrellas, incluido el Sol, y la Tierra misma, son asimismo entidades históricas.

En segundo lugar está la *reproducción* de entidades idénticas o muy semejantes. Un rasgo, largo tiempo considerado fundamental (y que, de hecho, se sigue comunmente teniendo por tal), que comporta no obstante algo de fronterizo, ya que en cierto modo los cristales despliegan una “reproducción” elemental, y que el proceso de autoduplicación de algunas macromoléculas se halla justo en el límite de los dos mundos.

En tercer lugar tenemos la *evolución basada en la selección natural*, sin duda un dato de extraordinaria importancia para la vida orgánica, pero que es dudoso sirva para definir la vida en general, como piensan los neodarwinistas. Recordemos que Monod, nada sospechoso de idealismo ni de vitalismo, decía que la evolución no es sino “un procedimiento de preservación del orden característico de las entidades vivas, frente a perturbaciones que destruirían toda estructura en un sistema no vivo”<sup>69</sup>; y añadía que, por eso mismo, lo que más debería sorprendernos es la estabilidad extraordinaria de ciertas especies y filums, que “siguen ahí” desde hace cientos de millones de años.

La razón de fondo de la división planteada entre rasgos esenciales y secundarios de lo viviente tiene que ver con la idea –que yo tendería a asumir– de que la vida es, ante todo, orden dinámico automantenido que genera entidades coherentes, antecedentes de (o, en sus formas superiores, idénticas a) los individuos. La asunción de esta idea no me ciega, sin embargo, en relación a una importante dificultad: la que representa el hecho de que el orden dinámico autogenerativo no sea exclusivo del dominio biológico. Pues la *autopoiesis* no sólo se encuentra en la vida orgánica; ésta es, si se quiere, el mejor ejemplo de una (re)creación permanente de lo mismo, pero Prigogine y sus colaboradores han mostrado teórica y experimentalmente<sup>70</sup>, y Edgar Morin ha

---

<sup>69</sup> Monod, J., *Le hasard et la nécessité*, France Loisirs, París, 1989, pp. 147-148.

<sup>70</sup> Ver, por ejemplo, Nicolis, G. & Prigogine, I. (1987), *La estructura de lo complejo*, Alianza, Madrid, 1997, cap. 1 (“La complejidad en la naturaleza”).

acertado a formular en términos filosóficos particularmente claros<sup>71</sup>, que la auto-generatividad, lo que se conoce por autoorganización, se halla ampliamente extendida en la naturaleza, de la humilde llama de una cerilla a la estrella, de un tornado tropical a la tectónica global de la Tierra. Pero ¿es esto, en el fondo, una dificultad? ¿No puede también convertirse este dato de última hora, aportado por las ciencias de la complejidad, en un argumento en favor de la resurrección inesperada de un cierto pan-vitalismo que ya no precisaría de “fluido vital” alguno..., justamente porque la materia incluiría lo vital *bajo la forma de una tendencia espontánea a la autoorganización*? Es lo que parece pensar Lovelock, que incluye, en *Las edades de Gaia*, la siguiente reflexión:

En *The Self-organizing Universe*, Erich Jantsch planteaba razones importantes para la presencia de una tendencia general a la autoorganización, de manera que la vida, en lugar de ser una casualidad, sería una consecuencia inevitable. Jantsch basaba sus planteamientos en las teorías de los pioneros de lo que puede llamarse “la termodinámica de procesos irreversibles”: Max Eigen, Ilya Prigogine, Humberto Maturana, Francisco Varela y sus sucesores. En la medida que se acumula la evidencia científica y se desarrollan las teorías en este tema recóndito, puede que la metáfora de un universo viviente pueda [*finalmente*] ser incluida.<sup>72</sup>

Esta intuición apunta en sentido diametralmente opuesto que el reduccionismo biológico convencional: éste desvitaliza la vida, reduciéndola a combinaciones mecánicas de moléculas “muertas”; aquélla revitaliza la materia, que pasa a estar animada por una tendencia a la autoorganización cuyos fundamentos físico-energéticos no bastan para disolver el *encanto*, un poco alquímico, que reinstaura.<sup>73</sup> En esto consiste, a fin de cuentas, ese “reencantamiento de la Naturaleza” al que se refieren con frecuencia tanto Prigogine como Edgar Morin.

---

<sup>71</sup> Ver Morin, E., *La méthode*, t. 1.

<sup>72</sup> Lovelock, J., *Las edades de Gaia*, p. 233.

<sup>73</sup> El “materismo” del último Laín Entralgo iba también por ahí. Ver, de este autor, *¿Qué es el hombre?*



Los biólogos insisten en el carácter fundamental, en orden a la definición de lo vivo, de la reproducción de los organismos y de su evolución a través de mecanismos selectivos, y es ahí donde más chocan con los integrantes de la corriente gaiana. Me parece que la posición básica que estos últimos sustentan se resume perfectamente en una carta publicada en *Nature* en enero de 1997:

La posibilidad de que existan formas de vida a niveles superiores al que representan los organismos individuales es negada, por lo general, basándose en que tales sistemas incumplen uno o varios de los criterios establecidos para reconocer la vida. Pero esta postura parece tautológica: no hay razón alguna para esperar que los super-organismos cumplirán unos criterios basados en observaciones realizadas sobre organismos individuales. ¿No es hora ya de considerar la posibilidad de que las fronteras entre lo vivo y lo no vivo puedan ser más difusas de lo que se pensaba, de que puedan no ser estáticas a lo largo del tiempo, y depender incluso de la escala?<sup>74</sup>

Ahora bien, es obvio que sólo se puede sostener esta posición si se cuenta con un criterio claro de lo que hay que entender por vida. A la vista de lo que dice Lovelock<sup>75</sup> y de las manifestaciones realizadas por diferentes estudiosos de Gaia, creo que caben poquísimas dudas de que los gaianos sí que cuentan con tal criterio, y que el mismo tiene que ver con la idea de una tendencia autoorganizativa cósmica que realizan “paradigmáticamente” los organismos y Gaia, entendidos –ésta y aquéllos– como dos niveles diferenciados de “lo viviente”.

Esta concepción de la vida suprime la necesidad *absoluta* de la reproducción: la misma aparece, de acuerdo al nuevo punto de vista, como una mera estrategia de “lo autoorganizado”, que sólo es necesaria si las entidades tienen un ciclo existencial

---

<sup>74</sup> Bjornerud, M.G., “Live universe”, *Nature*, 385, 1997, p. 109.

<sup>75</sup> La última cita de *Las edades de Gaia* (ver más arriba) no es, por supuesto, más que un botón de muestra; véase también el capítulo 2 (“¿Qué es Gaia?”) de la misma obra.

corto, pero que deja de serlo si el *holón*<sup>76</sup> considerado dura un tiempo, si no infinito, sí lo suficientemente largo en proporción a la duración total del universo.

Y ¿qué pasa con la selección natural, que a todas luces Gaia incumple? Los geofisiólogos no aceptan –ya lo hemos visto– que la misma sea uno de los criterios fundamentales que definen lo viviente en general. Ello no obstante, la argumentación gaiana se ha ido afinando, desde que surgieron las primeras críticas darwinistas, no muy sutiles (**p.**: “¿con quién o con qué compite selectivamente Gaia?”, Dawkins, 1986), que no exigían, en contrapartida, desplegar tampoco demasiada sutileza en las réplicas (**r.**: “con nada, porque no hay nada con lo que pueda competir, de modo que se trata de un problema falso”, Lovelock *et al.*). Ultimamente, la problemática referente a “selección natural y Gaia” es discutida ampliamente en los congresos y reuniones que celebran los científicos que se sitúan en el marco del paradigma gaiano<sup>77</sup>, admitiéndose generalmente que la selección, que permite que el *nivel de los organismos* evolucione y se adapte, es sin la menor duda un factor esencial para la emergencia, perdurabilidad y adaptación (a las circunstancias cósmicas y locales cambiantes) del *nivel Gaia*. Por otra parte, es altamente significativa la emergencia de la nueva corriente simbiotista de la biología evolutiva, que enseguida se asoció estrechamente con la hipótesis Gaia, pues es un hecho que las ideas de Lynn Margulis “forman cuerpo” desde hace años con la visión de Lovelock, habiendo llegado a generar un verdadero bucle de mutua justificación. Me parece que esta vinculación se explica porque ambas concepciones cuentan con un mismo trasfondo paradigmático y arquetípico: uno de carácter *sintético-fusional*, claramente contrapuesto al *separativo-confrontativo* que impregna la doctrina de la competencia selectiva, idea clave del darwinismo en cualquiera de sus formas.<sup>78</sup> Es tan nítida la convergencia simbiotismo-

---

<sup>76</sup> El concepto y término de “holón” (= entidad autoorganizada, en un cosmos que se entiende sistémicamente estructurado) fue acuñado por Arthur Koestler junto con el de “holarquía” (*Janus*, 1978), y es asumido por Lynn Margulis y Tyler Volk.

<sup>77</sup> Como fue el caso en la 2<sup>nd</sup> *Chapman Conference* sobre Gaia, que se celebró en Valencia del 19 al 23 de junio del año 2000, a la que tuve el placer de asistir.

Gaia (así como Gaia integra un solo “macro-ecosistema”, o un superorganismo planetario, así diversos organismos en interacción simbiótica acaban integrando uno solo), y son tan fuertes, al mismo tiempo, las razones que favorecen a *ambos* polos de la confrontación de paradigmas que se acaba de señalar, que uno se pregunta si es que no está ante el mejor ejemplo jamás observado en las ciencias de la vida, de una dicotomía –la que forman “darwinismo” y “simbiotismo *más* Gaia”– que expresa una complementariedad prácticamente insuperable.

2. Ya en su primer libro sobre Gaia, Lovelock trataba de *blindar* su hipótesis frente a la previsible acusación de teleologismo, dedicando todo un capítulo a las analogías cibernéticas de la misma.<sup>79</sup> No deja de sorprender que, pese a lo inequívoco de la argumentación allí desplegada, la referida acusación se repitiera con insistencia en los años que siguieron a la publicación de dicha obra. En realidad, lo que hace Lovelock es desarrollar, aplicándolas al caso particular de nuestro planeta, una serie de nociones elementales de cibernética que permiten entender la emergencia de una *teleonomía planetaria*. Así, en relación a la geo-homeostasis que seguramente ocupa el primer lugar en orden de importancia: el mantenimiento de unas temperaturas terrestres superficiales compatibles con la vida, durante un período tan dilatado como el que representan los últimos 3 800 millones de años, Lovelock evoca explícitamente un efecto de termostato biorregulado, de un termostato natural orientado a la regulación del flujo energético solar, que integraría tanto la influencia de la vida en la composición de la atmósfera, con especial mención a las oscilaciones de los gases de efecto invernadero, como la incidencia de la actividad biológica en los cambios en el albedo –o reflectividad– de la Tierra, según la mayor o menor abundancia de nubes y hielo. Un modelo sencillo –quizá incluso demasiado– de la regulación térmica gaiana, que toma en consideración únicamente este segundo factor, lo constituye

---

<sup>78</sup> Tanto da que el protagonismo último lo ostente el individuo, o bien el “gen egoísta” que utiliza a los individuos para transmitirse.

<sup>79</sup> Lovelock, J., *Gaia. Una nueva visión...*, cap. 4 (“Cibernética”), pp. 63-79.

“Daisyworld”, el Mundo de las Margaritas, que Lovelock presenta en *Las edades de Gaia*<sup>80</sup> y que paso a describir:

Supongamos un planeta de las dimensiones aproximadas de la Tierra que se encuentra a la misma distancia de su estrella central que nuestro planeta del Sol. Semejante estrella es, no obstante, más joven que la nuestra, por lo que su irradiación energética es sensiblemente menor que la actual del astro rey. Supongamos asimismo que en ese planeta, Daisyworld, la vida solamente ha surgido bajo la forma de dos especies vegetales, caracterizadas ambas por producir flores parecidas a las margaritas, pero siendo unas muy claras, casi blancas, y las otras de color oscuro. Ambos tipos de margaritas sólo pueden crecer dentro de un cierto abanico de temperaturas, pongamos entre 5°C y 40°C. Las margaritas oscuras absorben fácilmente la radiación solar y, al hacerlo, se calientan individualmente, de modo que proliferan incluso aunque los rayos solares sean débiles; en cambio, las margaritas blancas reflejan la mayor parte de la radiación, así que necesitan contar con mucha energía solar (o con una elevada temperatura ambiente) para poder prosperar. Pero resulta que el crecimiento de uno u otro tipo de margaritas tiene efectos importantes sobre el clima global de Daisyworld: la generalizada proliferación de margaritas oscuras, oscurece -lógicamente- el planeta, o dicho en otros términos, reduce su albedo, de modo que el planeta en conjunto absorbe más energía solar y se templata; por el contrario, si las que florecen son las margaritas blancas, el albedo del planeta aumenta (igual que pasa en la Tierra cuando hay muchas nubes o se desarrollan más de lo normal los casquetes polares), la radiación estelar es reflejada y todo el planeta se enfría. Supongamos, en tercer lugar, que el sol de Daisyworld experimenta una evolución típica, de suerte que su irradiación va en aumento en el transcurso de los eones. Al comienzo de la historia de Daisyworld, la débil energía solar y las bajas temperaturas reinantes sólo permiten que se desarrollen las margaritas oscuras; pero éstas, al proliferar, oscurecen el planeta y lo llevan rápidamente a una situación térmica más templada, con lo que, a partir de un cierto momento, las margaritas blancas salen de su letargo y empiezan también a

---

<sup>80</sup> Lovelock. J., *Las edades de Gaia*, pp. 49-52.

reproducirse y a extenderse. Pero, a todo esto, la temperatura de la estrella ya ha empezado a subir, de modo que pronto se suman dos causas de calentamiento; esto crea las condiciones para que, en el verano de cada hemisferio (suponemos que Daisyworld tiene estaciones, lo mismo que la Tierra), las margaritas blancas pasen a predominar, siéndoles el ambiente térmico más favorable y contribuyendo, de paso (de hecho, automáticamente) a refrescarlo, por el aumento de albedo que producen. El resultado es, como vemos, una tendencia, promovida permanente y recursivamente por las margaritas, a empujar la temperatura media global hacia el grado óptimo, y ello sólo porque las mejores condiciones de supervivencia de cada una de las dos especies inducen condiciones globales que tienden a optimizar el medio ambiente vital (para *ambas* especies). En la etapa final de Daisyworld, proliferan evidentemente las margaritas blancas; y al contribuir a incrementar el albedo, refrescan ese mundo ahora sobrecalentado por la estrella en fase terminal, y prolongan su vida. Pero ello, obviamente, sólo durante un tiempo, ya que el imparable aumento de la radiación estelar acaba revelándose incompatible con la vida de cualquier tipo de margaritas.

Lovelock complica luego este modelo, y propone otros alternativos. Pero considera que, en todo caso, Daisyworld cumple adecuadamente con su misión: poner ante los ojos del lector, de manera fácil y gráfica, un modelo a la vez cibernético y bioecológico de regulación del clima.

Está claro, pues, que la teleonomía gaiana no precisa de una consciencia, de una *diosa Gaia*, en sentido literal e ingenuo, que tome las decisiones. De hecho, Lovelock cree oportuno recordar a sus celosos críticos antiteleológicos que nosotros, seres humanos conscientes, tampoco decidimos voluntariamente nuestra temperatura corporal.<sup>81</sup>

---

<sup>81</sup> Es oportuno recordar que ya Aristóteles distinguía entre la finalidad “en las artes humanas”, que exige deliberación y decisión, y la finalidad inmanente de la Naturaleza, que existiría sin implicar nada parecido. Ver: Queraltó, R., *Naturaleza y finalidad en Aristóteles*, Pubs. de la Univ. de Sevilla, 1983, pp. 66-76.

El contexto de educación –o de transmisión– de la hipótesis Gaia presenta interesantes peculiaridades que pueden, pienso, proyectar luz tanto sobre la hipótesis en sí como sobre el modo real de transmisión de las teorías científicas. Lo esencial es que Gaia está siendo dada a conocer desde hace años, no sólo a nivel divulgativo sino también a nivel educacional *sensu stricto* (en los programas de enseñanza media, por ejemplo<sup>82</sup>) de forma muy amplia, yendo incluso a contrapelo de las preferencias de las comunidades disciplinares concernidas (geólogos, biólogos y ecólogos). No es tanto, pues, que las instituciones promuevan la divulgación de una teoría que se está debatiendo en su seno, sino más bien que la difusión social de la misma se realiza espontáneamente, a través de canales de todo tipo, en parte académicos y en parte privados. Ciertamente, esto no ocurre en idéntico grado con todas las teorías, sino de manera mucho más acusada con aquéllas que, como la de Gaia, resuenan con imágenes antrópicamente significativas, esto es, con *arquetipos* que se esconden detrás de temas recurrentes y que son susceptibles de inspirar modelos paradigmáticos.

La transmisión de Gaia dentro del sistema educativo está, pues, inextricablemente imbricada con lo que he llamado el “contexto de recepción” de la teoría, el cual no implica solamente a la comunidad científica sino también a la sociedad entera; y que no sólo está condicionado por intereses, sino que cuenta, además, con el importante punto de anclaje del psiquismo humano en su medio matricial que es la interiorización del mundo a través de imágenes arcaicas. La transmisión pedagógica de Gaia (el *contexto de educación*) no puede, pues, separarse del marco que impone la recepción social de la nueva concepción.

---

<sup>82</sup> F. Anguita y J.L. Arsuaga dicen al respecto: “Actualmente el debate [*sobre Gaia*] sigue vivo, pero lo cierto es que la idea ha prendido, no sólo en el ámbito de la ciencia popular sino también en el sistema educativo: por ejemplo, son muchos los textos de Ciencias Naturales para Secundaria que incorporan la teoría de Gaia, incluso en el título, aunque no siempre tratan el tema de forma muy rigurosa.” Y añaden: “Por eso nos ha parecido que una discusión que resumiese los méritos e inconvenientes de Gaia podría resultar útil, sobre todo porque el concepto representa un excelente tema de debate sobre la forma en que surge y evoluciona una teoría científica.” (“¿Es Gaia...?”, p. 198).

Queda todavía el último contexto de Gaia, que no es por cierto el menos importante: el de *aplicación*. Este contexto gaiano existe, desde luego, pese a lo que superficialmente pueda parecer, pero es tan atípico en comparación a sus homólogos relativos a otras teorías científicas que dejo su exposición para el final del capítulo, cuando otros importantes temas hayan sido tratados.

## **5. 7. El desarrollo de la investigación gaiana**

### **5. 7. 1. La “ciencia normal” gaiana**

Si Gaia encierra un sólido núcleo paradigmático, o incluso *es* un paradigma –lo cual no resulta descabellado, en la medida que su nombre mitológico posee una fortísima pregnancia simbólica (Cassiser) o arquetípica (Jung, Gilbert Durand)–, entonces es de esperar que ponga en marcha dos dinámicas paralelas aunque no inconexas: una *justificativa* orientada a lograr su implantación en una comunidad científica que se muestra reticente ante una concepción cargada de ecos de tradiciones culturales que le resultan ajenas, y otra de despliegue de toda una corriente de *ciencia normal* (ver Kuhn, *La estructura...*) basada en ella. A la primera de tales dinámicas ya me he referido; veamos ahora qué ocurre con la segunda. Un seguidor “ortodoxo” de Kuhn diría seguramente que una revolución científica tiene que haber culminado para que puedan surgir investigaciones “normales” que cuenten con la nueva concepción paradigmática como punto de partida; y tendería a minimizar el hecho manifiesto de que las tentativas de justificación de cualquier teoría nueva promueven, ya de entrada, numerosas líneas de investigación sistemática, que van en el sentido tanto de afinar la teoría como de corroborarla acumulando “pruebas” inductivas. Se podrá objetar que

unas investigaciones (las de un Wegener o las de un Lovelock) que se limitan a recabar pruebas a favor de una teoría que recibe un apoyo minoritario, no pueden considerarse “ciencia normal” en ningún caso. Pero la cuestión es que hay disciplinas –y es justamente el caso de las ciencias de la vida y de la Tierra– en las que “lo normal”, históricamente, ha sido la presencia de corrientes minoritarias, de disidencias significativas (wegenerianos, expansionistas, simbiotistas, gaianos...). Lakatos corrige a un Kuhn muy sociologizado que tiene prisa en dejar cerradas y “normalizadas” las revoluciones científicas, y afirma que los *programas de investigación* no se abandonan así como así: se trata siempre de preservar su núcleo duro como si fuese algo sumamente valioso (¿acaso no existe una componente axiológica en el interior de cada núcleo duro, lo mismo que la hay en cada tradición?), y tienen que mostrarse muy estériles heurísticamente para que sus partidarios los dejen caer del todo.<sup>83</sup> Si asimilamos “programa de investigación” (Lakatos) a “tradición de investigación” (Laudan) o, simplemente, a “corriente científica”, observaremos que *dentro de cada una de tales vías de aproximación cognitiva* se produce ciertamente “ciencia normal”, es decir, se llevan a cabo de forma sistemática investigaciones que son coherentes con el paradigma -o el *hard core*- que inspira el programa, la tradición o la corriente de que se trata.

Pues bien, ¿qué ciencia normal está produciendo Gaia? Lo que las investigaciones en curso dejan ver responde al esquema clásico: los científicos gaianos proponen *modelos* y tratan luego de confirmarlos empíricamente. Lo modelizado son siempre procesos cíclicos, recursividades implantadas a escala terrestre global, que “tienden a mantener condiciones generales compatibles con la vida”, unas condiciones que, bien entendido, no tienen por qué ser idénticas a las actuales.

La pregunta inicial –y previa– es entonces: ¿cuáles son esas condiciones? Una respuesta que creo ampliamente asumible podría contener cuatro puntos: a.- tiene que existir agua líquida o, digamos, un disolvente-gelificante universal que permita las reacciones metabólicas, establezca el *medio interno* de cada organismo, etc.;

---

<sup>83</sup> Ver Lakatos, I., *La crítica y la metodología de programas científicos de investigación*, Revista Teorema, Inst. de Lógica y Metodología, Universidad de Valencia, 1981.



b.- fuentes de energía química capaces de alimentar la reactividad constructora / destructora permanente que caracteriza a unos sistemas, los organismos, que se (auto)-mantienen lejos del equilibrio, tienen que estar también presentes; c.- es imprescindible la existencia de un medio externo continuo, que cierre “por fuera” los ciclos de materia puestos en marcha por los metabolismos en presencia, un medio que sirva además de sustrato a la intrincada red de relaciones que todo lo viviente teje<sup>84</sup> ; d.- la temperatura de ese medio puede oscilar dentro de unos márgenes bastante amplios, mayores en todo caso de lo que se creía hasta hace poco, ya que se ha constatado que no pocos organismos elementales toleran situaciones térmicas realmente extremas; pero, aun así, esos márgenes tienen que respetar la existencia necesaria de agua en estado líquido como una condición para que la vida pueda florecer.<sup>85</sup>

### 5. 7. 2. El ciclo CO<sub>2</sub> – CO<sub>3</sub>Ca

La primera modelización gaiana no se refería al planeta real: fue el “Mundo de las Margaritas” ideado por Lovelock a comienzos de los ochenta. Son sobre todo diversos colaboradores del sabio británico en Europa y América quienes llevan ya más de quince años proponiendo modelos gaianos de control del clima terrestre. Una importante línea de investigación que se basa en Gaia como hipótesis de partida, lleva el sello de la Unión Europea: se trata del estudio sobre el impacto global del alga marina microscópica *Emiliana huxleyi* lanzado por Peter Westbroek desde su

---

<sup>84</sup> Pues la vida precisa de una *ecosfera* para poder expandirse, desplegando al mismo tiempo su carácter coligativo o asociativo esencial (Margulis & Sagan, *op. cit.*). Por eso es por lo que las “biosferas aisladas”, de tipo burbuja, son extremadamente frágiles y de viabilidad más que dudosa (excepto, quizás, como medio de transporte de gérmenes a través del espacio).

<sup>85</sup> Sólo si llegara a demostrarse que otro disolvente es también apto para realizar las funciones biológicas que cumple el agua líquida, este margen (de algo menos de 0°C a algo más de 100°C), ya considerablemente flexibilizado últimamente por ambos extremos, podría revisarse a fondo. De ahí el enorme interés de misiones espaciales como la Cassini-Huygens, a Titán, satélite planetario de Saturno, en donde se cree que existe un océano de metano.

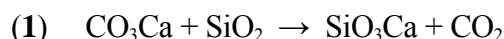
departamento de geofisiología en la Universidad de Leiden, que cuenta con apoyo internacional.<sup>86</sup> Ese alga es un organismo fotosintetizador esferoidal de no más de 1/100 de mm de diámetro, que tiene la curiosa propiedad de rodearse de delicadas plaquitas circulares de carbonato cálcico (CO<sub>3</sub>Ca) llamadas *cocolitos*. Tales placas, con forma de disco solar radiante y evocadoras de un delicado encaje artístico, se generan en el interior del organismo bajo control bioquímico, y emigran luego a la superficie para formar un exoesqueleto de calcita. Más allá de sus aspectos botánicos y bioquímicos –de gran interés, desde luego–, está la dimensión biogeográfica y *global* del fenómeno oceánico que constituye la proliferación de este organismo en todos los mares de la Tierra. Pues desde su aparición en el registro fósil, hace alrededor de 200 millones de años (al final del Triásico), las algas cocolitóforas, a cuyo grupo pertenece *Emiliana*, han conocido un extraordinario éxito adaptativo que les ha permitido colonizar sin trabas el medio oceánico. Enormes extensiones líquidas de color lechoso, debidas a la acumulación masiva de estas algas, aparecen aquí y allá, en todos los mares, ocupando en ocasiones áreas tan extensas como Cataluña o Escocia. Pero la reproducción y la muerte incesantes de los microorganismos provocan una lluvia continua de carbonato cálcico sobre el fondo oceánico a cualquier distancia de la costa (y no sólo cerca de ella, que es donde viven la mayoría de los organismos marinos calcificadores, los cuales existían ya mucho antes de la aparición de las cocolitóforas<sup>87</sup>). Y esto tiene una importantísima consecuencia: sabemos que el fondo del océano es una especie de alfombra mecánica deslizante que se mueve impulsada por la tectónica de placas; si dicho fondo está recubierto de sedimentos carbonatados, los transportará a las zonas de subducción, en donde una parte sustancial de ellos será arrastrada por la placa que se sumerge en el manto; estos sedimentos sufrirán después (es decir, en los millones de años siguientes) un proceso de calentamiento y fusión parcial que los hará pasar a formar parte de los magmas andesíticos que expulsan los

---

<sup>86</sup> Principalmente en el marco del Programa Internacional Geosfera-Biosfera para el estudio del cambio climático global. Ver Westbroek, P., *Life as a Geological Force*, Norton & Co., Nueva York, 1992, p. 224.

<sup>87</sup> La mayor parte de tales organismos estaban presentes desde la explosión de diversidad biológica que se produjo a comienzos del Cámbrico, hace 570 millones de años.

volcanes asociados a la subducción. Como la fusión parcial va unida a desgasificación, los volcanes “de orla subductiva” eyectarán, junto con lavas características, cantidades ingentes de CO<sub>2</sub>, gas producido al descomponerse en profundidad el carbonato cálcico. La reacción intramantélica es la siguiente:



Lo que significa que el magma ascendente contiene silicato de calcio y que el gas carbónico retorna a la atmósfera. Ahora bien, esta reacción sólo se produce a gran escala si cantidades importantes de carbonato cálcico penetran en el manto, lo cual depende de su mayor o menor presencia en los sedimentos subducidos. A partir de ahí, es fácil entender lo que habrá supuesto el incremento sustancial de la proporción de CO<sub>3</sub>Ca en los detritos fondo-oceánicos desde la aparición y la extensión universal de las algas productoras de carbonato cálcico: un aumento importante de la cantidad de CO<sub>2</sub> expelido por los volcanes de orla. Y la consecuencia climática de ello es asimismo inmediata: al ser, como es bien sabido, el anhídrido carbónico un importante gas de efecto invernadero, una fuerte elevación de temperatura debió producirse a

partir del momento en que las cocolitóforas empezaron a proliferar en los océanos terrestres. ¿Queda algún registro de tal acontecimiento? La respuesta es afirmativa: una de las mayores subidas de temperatura registradas en la historia del planeta se produjo a lo largo de los períodos Jurásico y Cretácico, con la consecuencia de la completa desaparición de los casquetes polares, lo que ocasionó una importante elevación del nivel del mar (fig. 22). Sin embargo, ya hacia el final del Cretácico la temperatura se estabilizó: algo debió ocurrir, pues, para que el efecto invernadero no se hiciera notar tanto. Una posi-

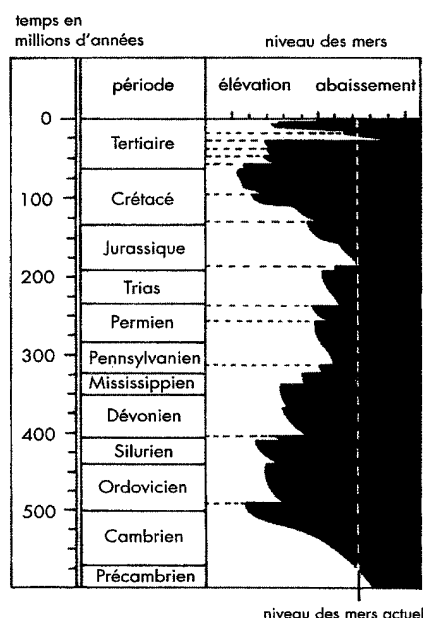


Figura 22. Fluctuaciones del nivel del mar

bilidad (recordemos Daisyworld) es que el albedo terrestre aumentase. Puesto que no había entonces casquetes polares, éstos no podían contribuir a incrementar el albedo, así que sólo quedaban las nubes como posible causa de aumento. Ciertamente con un clima caluroso hay más evaporación oceánica, y debería haber también, en principio, más nubosidad, pero sucede que las nubes no se forman si no hay núcleos de condensación suficientes. Y aquí es donde Gaia –y, en su seno, las algas productoras de carbonato– puede aportar una retroalimentación negativa eficaz de cara a una temperatura que podría desbocarse por el retorno masivo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Sucede que, al morir, los organismos marinos desprenden una sustancia, el *sulfuro de dimetilo*, que reacciona con el aire húmedo originando microgotas de ácido sulfúrico que resultan ser eficacísimos núcleos de condensación del vapor de agua. Entonces, al proliferar la vida marina (lo que ocurre si la temperatura media del agua se mantiene moderadamente alta, pongamos entre 20° y 30°C), los océanos desprenden más sulfuro de dimetilo, con lo que, en presencia de abundante vapor de agua, queda garantizada la formación de nubes y el aumento del albedo planetario incluso en ausencia de casquetes polares. He aquí un típico modelo gaiano susceptible de explicar la curva de temperaturas durante un lapso bastante largo de los tiempos geológicos “clásicos” (los caracterizados por la abundancia de fósiles de metazoarios).<sup>88</sup> Y nos asombra, de paso, que un sólo organismo, *Emiliana* y sus antecesores, sea capaz de reunir la virtud reguladora de todas las margaritas, blancas y negras, de Daisyworld.

El modelo de regulación climática basado en las algas cocolitóforas (*Emiliana huxleyi* y sus parientes cercanos) es desde luego bastante impresionante, pero también excesivamente simple. ¿Qué pasaba cuando ningún organismo ubicuo productor de carbonato cálcico había aparecido todavía? Bien, estaban –desde comienzos del Cámbrico– los organismos de plataforma continental, que no son tan ubicuos como

---

<sup>88</sup> Todo ello, sin necesidad de considerar el gran incremento de albedo y los otros posibles efectos que *pudo* causar la caída (hipotética) del gran meteorito que supuestamente provocó la extinción de los dinosaurios, junto con muchos otros taxones, justo en el límite Cretácico-Terciario, hace 65 m. de a.

*Emiliana* pero que fabrican también esqueletos calcáreos y que, por tanto, son –como la célebre alga– sumideros biológicos de carbono. Desde mucho antes, prácticamente desde el inicio de la vida en la Tierra, existían los estromatolitos, edificios bacterianos de carbonato cálcico que son seguramente los primeros sumideros biológicos de carbono. Su extensión fue muy importante en el Arcaico, antes e incluso durante la “revolución del oxígeno” (que las bacterias fotosintetizadoras que los constituían contribuyeron a impulsar), es decir, hace entre 3 500 y 2 300 millones de años; pero nunca alcanzaron la importancia que, de cara a la formación de rocas calcáreas, tienen numerosos organismos eucariotas y pluricelulares.

Y estaba también la alteración continental de las rocas endógenas de alto contenido en silicatos de calcio, una trampa formidable para el carbono del CO<sub>2</sub>. El proceso de alteración, por meteorización, de tales silicatos revierte, en términos generales, la reacción intratelúrica (1), de manera que acaban formándose de nuevo sílice y carbonato cálcico, que se depositan en las cuencas oceánicas. Este último procedimiento de reciclaje del carbono no es, en principio, gaiano, aunque sí sistémico. En él, la vida no interviene directamente, y ello muestra que el reciclado de elementos químicos importantes también puede producirse sin que intervenga la biosfera.<sup>89</sup> Pero ¿no interviene de ningún modo? ¿Dónde dejamos entonces la influencia de la vida en la meteorización de las rocas? Esta influencia es –como señalan Westbroek y Tyler Volk, entre otros– muy grande, hasta tal punto que se puede considerar la vida orgánica como un auténtico catalizador de la alteración, que consiste en parte en la transformación de los silicatos en carbonatos. Un paso intermedio necesario para que esa alteración se produzca –a gran escala, se entiende– es la formación de *suelos*, unos medios específicamente vinculados a la biosfera, pues no existen verdaderos suelos allí donde la vida falta por completo, como sucede en ciertos ambientes desérticos extremos o en las superficies abióticas de la Luna, Marte y Venus. Diversos

---

<sup>89</sup> Ver Westbroek, P., *Life as a Geological Force*, capítulos 4 y 10. Westbroek suministra una referencia amplia de las investigaciones del geólogo y geoquímico Robert Garrels (fallecido en 1988) que apuntaban en esa dirección.

investigadores de la hipótesis de Lovelock coinciden en considerar los suelos como auténticos “tejidos de Gaia”, como subsistemas o microcosmos que reflejan a su escala la interconexión que se da en el planeta a escala general. La textura de Gaia comporta, pues, una dimensión *fractal*.

Volviendo a la influencia de la vida en la alteración físico-química de las rocas, hay que reconocer que, si bien hoy en día es indiscutiblemente muy fuerte, tuvo que ser menor en el pasado. Observamos que, como recuerda Westbroek, “el pozo oceánico de carbonato ha ido estando cada vez más bajo el control del biota”<sup>90</sup> a lo largo de los tiempos geológicos, pasando de no estarlo en absoluto al comienzo de la historia de la Tierra, a estarlo en gran medida tras la expansión evolutiva de las estructuras esqueléticas y, sobre todo, tras la “explosión” mesozoica de las algas productoras de cocolitos. Es por ello que Westbroek se atreve a afirmar que la caliza es *una roca que evoluciona*.<sup>91</sup> Lo hace, en efecto, puesto que depende –en cuanto a su misma naturaleza litológica– de lo que evoluciona en sentido estricto: la vida orgánica. Un dato como este explica la insistencia de los gaianos en *la evolución conjunta biota-medio*.

Las investigaciones, tanto de los científicos de Gaia como de algunos geoquímicos críticos hacia la hipótesis, concernientes a la deposición y al reciclaje de los carbonatos, están desplegando un potencial heurístico que no va solamente en el sentido de apoyar lo que es esencial en la teoría de la Tierra-superorganismo, sino también en el de contribuir a afinarla, sugiriendo reajustes. Se trata, en resumidas cuentas, de lo siguiente:

1. El reciclaje del carbono cuenta con un tramo irreductiblemente geológico: el que va desde la subducción de los sedimentos hasta la expulsión de CO<sub>2</sub> por los volcanes de orla, un tramo endógeno ligado directamente a la tectónica de placas.

---

<sup>90</sup> *ibid.*, p. 164.

<sup>91</sup> *ibid.*, p. 165.

2. La vida lo que hace básicamente es modular el ritmo de deposición de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en los fondos oceánicos. Una gran deposición no biógena ha tenido lugar desde los primeros tiempos de la historia del planeta, y sigue produciéndose en la actualidad; una deposición que responde a una *ciclicidad sistémica* que no es intrínsecamente gaiana, de modo que podría, en principio, funcionar independientemente del factor biológico. Sin embargo todo parece apuntar a que el peso de la dinámica de la biosfera en la “mitad superior” del ciclo  $\text{CO}_2 - \text{CO}_3\text{Ca}$  ha ido siendo cada vez mayor; y a que, desde hace muchos millones de años, la vida ostenta un importantísimo –o quizá el principal– papel tanto en la alteración de las rocas como en la génesis de las rocas sedimentarias carbonatadas.

Este vasto panorama cíclico, que tiene al carbono como protagonista (enseguida veremos que el ciclo  $\text{CO}_2 - \text{CO}_3\text{Ca}$  no es el único proceso global en el que participa el carbono), me sugiere una pregunta: más allá de que se estructure en dos fases, una externa controlada principalmente por la vida y otra interna que no parece estarlo, ¿el ciclo  $\text{CO}_2 - \text{carbonatos}$  es gaiano, *globalmente*, o no lo es? En otros términos, la estructura recursiva, claramente sistémica, de este proceso ¿favorece finalmente, de algún modo, la existencia de vida en la Tierra, o resulta más bien indiferente al respecto? Al reflexionar sobre el tema, uno se da cuenta de que, en todo caso, un reciclaje endógeno del carbono resulta imprescindible para que pueda florecer la vida. Pues el vulcanismo (incluso si, como se piensa, su intensidad ha decrecido en el transcurso de los tiempos geológicos) habría incrementado de manera continua, desde el origen mismo de la Tierra, el porcentaje atmosférico de anhídrido carbónico si este gas no retornase, en una proporción considerable, al interior del globo. De algún modo, esto es lo que nos muestran nuestros vecinos del sistema solar, los planetas Venus y Marte, que al no reciclar endógenamente el  $\text{CO}_2$  –por no tener tectónica de placas– se encuentran con que éste representa entre el 95 y el 98% de sus masas atmosféricas, de unas atmósferas que son testigos mudos de la ausencia de vida.<sup>92</sup>

---

<sup>92</sup> O de una raquíica presencia, en el mejor de los casos, si se prefiere dar crédito a los “marte-optimistas”.

Está ciertamente también la acumulación de carbono en el biota, pero la masa total de éste (esa “tenue película”) no puede, ni mucho menos, justificar una retirada tan enorme de CO<sub>2</sub> de la atmósfera (hasta el punto de haber pasado de ser el gas dominante a representar un 0,05% de la masa atmosférica, y esto contando ya con el incremento antropogénico que se prevé para las próximas décadas). Hace falta desde luego un mecanismo mucho más expeditivo, y el enterramiento –aunque sea temporal– de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, en forma de carbonato cálcico, es sin duda ese mecanismo. Así, el ciclo endógeno CO<sub>2</sub> – carbonatos aparece como absolutamente fundamental para mantener una atmósfera pobre en CO<sub>2</sub>, el gas de efecto invernadero responsable –por su concentración y su presión– de que la temperatura en la superficie de Venus sea actualmente de 470°C, y ya se ha dicho que con una atmósfera similar a la venusiana, la temperatura de la Tierra rondaría los 290°C.

Se mire, pues, como se mire, sea “gaiano” o sea “geológico”, sea “biogénico” o sea “inorgánico”, el reciclaje endógeno del carbono favorece enormemente la posibilidad misma de la vida. Y es, por lo demás, muy significativo que ésta haya pasado a controlar crecientemente –como acabamos de ver– un proceso tal, de cuya continuidad depende nada menos que su propia persistencia.

El cambio que las investigaciones en curso sobre el ciclo exógeno-endógeno del carbono (el ciclo CO<sub>2</sub> – carbonatos) tienden a promover en la teoría de Gaia apunta, pues, a moderar el excesivo énfasis puesto inicialmente por Lovelock sobre la vida orgánica como única beneficiaria y única “directora” de Gaia, entendida (ya por el mismo Lovelock desde su primer libro) como *sistema Tierra autorregulado*. Este será el tema central del próximo capítulo, pero adelanto ahora que la clave puede estar en que la “vida de Gaia” no es, desde luego, idéntica a la “vida de los organismos”. Éstos necesitan el “nivel Gaia” para existir y desplegarse evolutivamente, y el “nivel Gaia” (de autoorganización de la materia-energía) los necesita también, sin duda, a ellos; sin embargo, al no ser idénticos ambos niveles, existirá entre ellos complementariedad, sí, pero también competencia y antagonismo, tal como Edgar Morin no cesa de



recordarnos que ocurre en todos los ámbitos de *coherencia compleja* que constituyen la Naturaleza.

### 5. 7. 3. El refrescante ciclo del azufre

Conviene añadir algo más acerca del reciclado, por vía oceánica y biológica, del azufre en las geosferas externas de la Tierra. Hay que aclarar, de entrada, que las fuentes endógenas de azufre, bien conocidas por todos (pensemos en los depósitos de este elemento en la vecindad de los volcanes), no bastan, al parecer, para garantizar actualmente la reposición de todo el azufre imprescindible para los organismos vivos en las distintas eco-regiones del planeta. Aunque seguramente las emisiones volcánicas de compuestos sulfurados sí que eran suficientes para satisfacer las necesidades de la vida en un pasado geológicamente más activo que el presente.<sup>93</sup>

Sea como sea, el azufre (especialmente en forma orgánica) sufre un implacable lavado en las zonas continentales, y es arrastrado por las corrientes fluviales al mar, en donde se acumula y es utilizado por los organismos. De ahí, un empobrecimiento continuo de azufre en los continentes, donde los seres vivos precisan de él igualmente. ¿Cómo vuelve el azufre del océano al continente? No por cierto –dicen los gaianos–, salvo en muy pequeña proporción, en forma de gas sulfhídrico ( $\text{SH}_2$ ), compuesto tóxico de característico olor a huevos podridos que se podría detectar fácilmente. Lo hace en una forma que nos resulta más agradable: como *sulfuro de dimetilo* (abreviadamente, SDM), el gas que, en pequeñas concentraciones, proporciona su olor característico al pescado fresco y su tonificante aroma a la brisa marina. Grandes cantidades de esta última sustancia –cuya fórmula es  $\text{S}(\text{CH}_3)_2$ – son producidas por las algas y otros organismos, en mar abierto. En 1971, James Lovelock emitió la hipótesis

---

<sup>93</sup> Son varios los científicos gaianos (Lovelock y Tyler Volk entre otros) que afirman que las emisiones volcánicas de azufre son insuficientes, en la actualidad, para satisfacer las necesidades globales del biota.

de que este gas de origen biológico podría ser el agente principal del reciclado exógeno del azufre.<sup>94</sup>

El esquema sería, pues, el que recoge el dibujo:

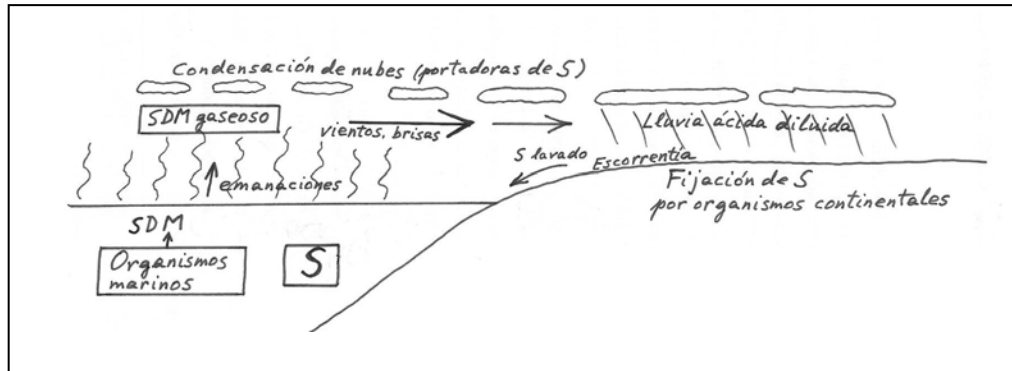


Figura 23. El ciclo gaiano del azufre, según Lovelock

Este ciclo tiene, como ya se ha señalado, una consecuencia climática extremadamente importante: el sulfuro de dimetilo genera gotitas ácidas microscópicas que funcionan como núcleos de condensación de las nubes. Hay que tener en cuenta que sobre el mar hay evidentemente mucha humedad pero -en principio- no tantos núcleos de condensación, de modo que una gran parte de la evaporación que tiene lugar continuamente en el océano, no sería eficaz de cara al desarrollo de masas nubosas (y por tanto de lluvias) de no ser por esas microgotas de sulfúrico que se forman a partir del SDM. La vida marina cumpliría, por consiguiente, un importantísimo papel regulador, tanto del clima local (incrementando las precipitaciones sobre las áreas oceánicas y las zonas costeras) como del albedo terrestre y del clima global, por el intermedio de este compuesto orgánico.

La verificación del desprendimiento de grandes cantidades de SDM por las aguas marinas (en realidad por las algas y otros organismos) ha sido hecha sucesivamente

<sup>94</sup> Ver Lovelock, J., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, Oasis-Integral, Barcelona, 1992, pp. 122-123.

por el propio Lovelock, quien midió altas concentraciones de este gas con un aparato de su invención –el cromatógrafo– en el curso de una larga travesía científica realizada a bordo del *R V Shackleton* en 1972 <sup>95</sup>, y por el oceanógrafo M.O. Andreae a comienzos de los ochenta.<sup>96</sup> Los meteorólogos R. Chalson y Stephen Warren fueron quienes propusieron que el mecanismo químico de la oxidación atmosférica del SDM es la fuente principal de núcleos de condensación nubosos en las áreas oceánicas.<sup>97</sup>

Una compleja regulación de la temperatura media terrestre se establece, pues, a partir de los dos factores contrapuestos que son el CO<sub>2</sub> atmosférico (efecto invernadero) y el albedo (reflexión de los rayos solares), ambos influenciados fuertemente por la actividad de la biosfera.

#### **5. 7. 4. Más sobre el efecto invernadero**

No olvidemos que el CO<sub>2</sub> no es el único gas terrestre de efecto invernadero. Están también los diversos óxidos de nitrógeno (que son en parte biogénicos y en parte no), el metano (biogénico en su totalidad) y el propio vapor de agua. La concentración de óxidos de nitrógeno es muy baja, aunque hoy en día tiende a crecer a consecuencia de la actividad industrial. El porcentaje actual del metano atmosférico, un 0,0004%, indudablemente muy bajo (aunque lo lógico sería que fuese rigurosamente cero en una atmósfera tan oxidante como la terrestre), debió ser considerablemente mayor en el Arcaico, cuando las bacterias que lo generan se encontraban distribuidas amplísimamente en una Tierra de atmósfera anóxica, hasta el punto de ser entonces dicho gas el principal factor responsable de que la temperatura terrestre fuese incluso más alta que la actual, pese a brillar el Sol entre un 20 y un 30% menos que en la

---

<sup>95</sup> Ver Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, pp. 157-159; ver también Lovelock J.E., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, p. 122.

<sup>96</sup> Ver Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, p. 162; *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, p. 123.

<sup>97</sup> Ver Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, p. 162.

actualidad.<sup>98</sup> Hoy en día el metano juega un papel secundario, pero no totalmente despreciable, en el calentamiento de la superficie terrestre, y la expansión de la ganadería, que lo está haciendo aumentar, implica que dicho papel sea cada vez mayor.

Queda, por último, el vapor de agua. Puede parecer paradójico que el agua contribuya a calentar la Tierra, siendo así que se la asocia comunmente con el frescor; y sin embargo es bien cierto que el vapor es un gas de efecto invernadero. Lo que pasa es que, cuando se condensa en nubes, éstas reflejan los rayos solares y –aumentando su albedo– refrigeran el planeta. Ahora bien, si el agua permanece en estado de vapor, sin llegar a formar nubes, entonces se comporta como un gas que posee un poderoso efecto de retención del calor, y que crea, por tanto, un intenso bucle positivo de retroalimentación. Una cosa así ha podido pasar alguna vez en Venus (donde se habría sumado al predominio del CO<sub>2</sub>), y ha podido contribuir a la catastrófica elevación de temperatura sufrida por nuestro planeta vecino, que acabó arrancándole todo el agua. Estas últimas consideraciones vienen a subrayar todavía más la importancia climática, en un sentido netamente favorable a la vida, que tiene –por caminos indirectos– el sulfuro de dimetilo que produce el plancton.

#### **5. 7. 5. La “revolución preventiva” del oxígeno**

En el pasado, y aun hoy en la imagen popular, se ha asociado el fenómeno de la vida casi tanto con la presencia de oxígeno en la atmósfera como con la existencia de abundante agua líquida. Hoy sabemos, no obstante, que el oxígeno no es más que una de las muchas posibles fuentes de energía química válidas para permitir un metabolismo que es, éste sí, consustancial con la vida. Que puede haber vida sin oxígeno es una evidencia que ponen ante nuestros ojos los abundantes organismos anaerobios que encontramos en todos los nichos actuales en los que no está presente el oxígeno molecular. Y cuanto más antiguos, cuanto más primitivos, son los organismos,

---

<sup>98</sup> Ver, p. ej., Catling, D.C. *et al.*, “Biogenic Methane, Hydrogen Escape, and the Irreversible Oxidation of Early Earth” en *Science*, 293, 2001, pp. 839-843.

más abundan entre ellos las formas anaerobias, lo que hace suponer que todo el biota arcaico metabolizaba de manera anóxica. Este modelo ha quedado firmemente establecido desde hace tiempo.

Numerosos autores, incluidos James Lovelock y Lynn Margulis, se refieren a una *revolución biogeológica del oxígeno*. Entienden por ello el cambio drástico en la composición de la atmósfera de la Tierra que tuvo por origen el éxito evolutivo y la consiguiente expansión de los organismos fotosintetizadores. Tal revolución no se realizó, sin embargo, de una sola vez, sino que contó con varios “impulsos” que la hicieron subir otros tantos “escalones”. Hay que tener en cuenta que los primeros fotosintetizadores fueron las antiquísimas cianobacterias, que se cuentan entre las primeras formas de vida conocidas. Una producción “primordial” –y ya entonces biogénica– de O<sub>2</sub> advino, por tanto, desde los primeros tiempos de la historia de la vida terrestre, pero ese oxígeno reaccionaba con los metales y demás elementos en estado reducido presentes en las rocas aflorantes, disueltos en el agua del océano, emitidos en forma gaseosa por los volcanes, etc. Era, pues, fijado rápidamente y apenas si se quedaba en la atmósfera. Tuvo que transcurrir un larguísimo lapso de tiempo para que todos esos sumideros se saturasen de oxígeno, de modo que las emisiones fotosintéticas pudieran dejar un excedente.<sup>99</sup>

Pero llegó un día, hace alrededor de 2 300 millones de años, en que eso finalmente ocurrió. Se produjo entonces un importante incremento en el porcentaje de oxígeno en la atmósfera, que pasó de cuasi vestigial (menos de un 0,1%) a un 4-8%, entre un sexto

---

<sup>99</sup> Varios investigadores acaban de proponer como causa concomitante del aumento del oxígeno atmosférico en el Arcaico, la mayor fuga de hidrógeno molecular al espacio que, durante varios cientos de millones de años, debió darse por el hecho de existir en la atmósfera bastante más metano que actualmente. La fotólisis del metano sería la fuente del hidrógeno, que no se recombinaba con el todavía escaso oxígeno liberado por la fotosíntesis, y escapaba. Al tener aquel metano un origen biológico, este mecanismo oxigenador dependía por completo de la biosfera arcaica. Ver Catling, D.C. *et al.*, “Biogenic Methane,...”; ver también Kasting, J.F., “The Rise of Atmospheric Oxygen”, *Science*, 293, 2001, pp. 819-820.

y un tercio (las opiniones varían) del que existe hoy en día.<sup>100</sup> Y, como subrayan todos los autores –gaianos o no–, la vida se vio obligada a adaptarse al nuevo componente atmosférico, que era en principio altamente tóxico dada su reactividad exagerada.<sup>101</sup> Tal adaptación ocurrió, sin duda, a través de las leyes de la selección natural, y ni el gaiano más “fusional” y “simbiotista” contesta el que así fuera. El resultado fue la aparición de un nuevo grupo de organismos, el de los respiradores de oxígeno, que sacó provecho de la nueva situación y prosperó rápidamente.

Entonces -y de momento- se alcanzó un nuevo equilibrio dinámico: el oxígeno que producían, por un lado, los fotosintetizadores era consumido, por otro, por los respiradores (que muchas veces eran también fotosintetizadores). Pero este primer equilibrio se situaba claramente muy por debajo de la proporción de oxígeno que contiene la atmósfera actual. ¿Cómo se llegó entonces a ella? Pues porque otros procesos se pusieron en marcha. Uno, muy importante, tiene que ver con la formación de depósitos de carbón e hidrocarburos, que establece, de hecho, un segundo ciclo endógeno del carbono, paralelo al del CO<sub>2</sub> y los carbonatos. Dicho ciclo es mucho más lento e incierto que el acabo de nombrar, porque mientras que el fenómeno de la subducción garantiza que la mayor parte de los detritos carbonatados que penetran en el manto son desgasificados y reintegran sus átomos de carbono bastante pronto a la atmósfera por vía volcánica, la verdad es que no existe ningún proceso natural que asegure una nueva puesta en circulación del carbono orgánico que queda sepultado a gran profundidad, por lo que Westbroek, siguiendo en esto –según propia declaración– a Robert Garrels, estima en, al menos, 400 millones de años el tiempo que, por término medio, permanece enterrado un átomo de carbono orgánico. El caso es que el carbono de la biomasa que acaba de tal modo (menos de un 1% del que se oxida y se recicla) libera a un cierto porcentaje de oxígeno –minúsculo sin duda, pero no nulo– de su

---

<sup>100</sup> Holland, H.D., “Early Proterozoic atmospheric change” en *Early Life on Earth*, Nobel Symposium, 84, S. Bengtson (ed.), Columbia Univ. Press, Nueva York, 1994, pp. 237-244.

<sup>101</sup> Oxidativa o receptora de electrones.

“compromiso” de oxidar materia orgánica; y ese oxígeno pasa entonces a enriquecer la atmósfera.<sup>102</sup>

Para resumir, el proceso (netamente direccional o *histórico*) de oxigenación de la atmósfera terrestre ha contado con las siguientes fases:

1. Inicio de la fotosíntesis, existiendo avidez de oxígeno en los diferentes medios . . . . . menos de 0,1% de O<sub>2</sub>
2. Continuidad y expansión de la fotosíntesis con los medios naturales saturados de oxígeno + aparición de los respiradores . . . . . ~ 5% de O<sub>2</sub>
3. Nueva expansión de los fotosintetizadores (vegetales, bosques) + enterramiento masivo de restos orgánicos . . . . . 22-25% de O<sub>2</sub>
4. Aumento de incendios forestales (al ser muy alto el % de O<sub>2</sub>) . . . . . 19-22% de O<sub>2</sub>

La constancia del oxígeno en el 21% actual es, pues, imposible de sostener ni siquiera para los tiempos post-cámbricos. Es mucho más verosímil una oscilación, incluso relativamente amplia, en torno a un “óptimo” bastante vago, sobre todo “por abajo”, ya que “por arriba” el desencadenamiento espontáneo de incendios a partir de un 25% de oxígeno, impone un límite bastante severo.<sup>103</sup>

Es, en todo caso, incontestable que *la evolución conjunta biota-medio* (uno de los conceptos clave de la teoría de Gaia) ha dado como resultado una atmósfera planetaria atípica, con alrededor de una quinta parte de O<sub>2</sub>. Pues la atmósfera terrestre no ha sido siempre como es ahora: ha cambiado a lo largo del tiempo, *ha evolucionado*<sup>104</sup>; y al hacerlo, ha hecho a su vez que partes significativas del biota tuviesen que adaptarse, evolucionasen en sentido estricto; lo que, de nuevo, ha retroactuado sobre la

---

<sup>102</sup> Ver Westbroek, P., *Life as a Geological Force*, pp. 200-201.

<sup>103</sup> Ver Lovelock, J., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, p. 114.

<sup>104</sup> En el sentido original, y predarwinista por tanto, del término.

composición de la atmósfera... Se llega, por este camino, al concepto de *homeorresis* (u *homeorhesis*: “fluir” igual o conjuntamente)<sup>105</sup>, más adecuado para Gaia que el de homeostasis sobre el que insistía al principio Lovelock y que hoy se tiende a considerar secundario, refiriéndolo únicamente a etapas que están llamadas a sufrir desestabilizaciones inevitables.<sup>106</sup> Y es que todo parte del hecho de que la vida (tanto en el “nivel de los organismos” como en el “nivel Gaia”) es flujo heraclitiano, es permanente cambio. Y lo mismo que no puede parar sus ciclos constitutivos, tampoco puede fijarse en un estadio determinado.

Dicho esto, no deja de apreciarse un “sentido”, una flecha de irreversibilidad apuntando siempre en la misma dirección, en lo que ha sido la evolución de la atmósfera de la Tierra desde los primeros tiempos del planeta: la misma que ha conducido hasta la envoltura gaseosa rica en O<sub>2</sub> que conocemos (y que, con probables oscilaciones de  $\pm 5\%$ , existe desde hace entre 600 y 1000 millones de años). Ahora bien, esta evolución ¿ha ocurrido por casualidad? Otras transformaciones conjuntas biota-medio concebibles ¿habrían podido producirse igualmente, y no ha sido así en definitiva por azar? ¿O existe algún *plus gaiano* que ha favorecido la evolución a la vez biológica y atmosférica efectivamente producida, un plus que la habría seleccionado con preferencia a otras posibles? Encuentro del mayor interés la sugerencia que introduce Lovelock a este respecto. Se trata de que el oxígeno ha podido –y puede todavía, y aun más en el futuro cuando el Sol brille con más fuerza– ser clave de cara a evitar la pérdida del agua, la deshidratación (por deshidrogenación) de la Tierra.<sup>107</sup> Dicho en otros términos, para evitar que la Tierra acabe como Venus y Marte. Pues una atmósfera muy rica en O<sub>2</sub> evita, o retarda enormemente, la fuga de hidrógeno al espacio exterior, y ello por el expeditivo procedimiento de capturar cualquier átomo de hidrógeno que intenta escaparse, para formar con él una molécula

---

<sup>105</sup> Lovelock, J.E., *Gaia. Una ciencia...*, p. 141 (“Homeostasis y homeorhesis”).

<sup>106</sup> El punto de vista de Lovelock mismo ha ido cambiando en este punto. Vemos como en la referencia anterior, el británico se decanta inequívocamente por el segundo concepto.

<sup>107</sup> Ver Lovelock, J., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, p. 128.



de agua. Es decir, que si hubiese agua en abundancia pero no oxígeno libre atmosférico (y eso era precisamente lo que ocurría al comienzo de la historia de la Tierra, y lo que pudo haber seguido ocurriendo de no ser por el sesgo que tomó la evolución conjunta del biota y la atmósfera), sería mucho más fácil que, cada vez que se disocia una molécula de H<sub>2</sub>O (debido, por ejemplo, a la radiación ultravioleta), los ultraligeros átomos de hidrógeno recién liberados vieran coronada por el éxito su tendencia natural a abandonar la atmósfera terrestre. Rodeados, sin embargo, como lo están, de moléculas de oxígeno (ultrarreactivas), tienen su evasión mucho más difícil.

Además, señala Lovelock, la capa de ozono (O<sub>3</sub>) reduce –como es bien sabido– la incidencia de la radiación ultravioleta sobre el vapor de agua próximo a la superficie terrestre, con lo que disminuye la tasa de disociación de moléculas de H<sub>2</sub>O.

Todo esto hace pensar que la evolución planetaria global, que ha conducido a la atmósfera oxidante que existe actualmente, no es indiferente para algo de tanta trascendencia para la continuidad a largo plazo de la vida terrestre como lo es la retención de los océanos y, en general, del agua. No se trata, pues, únicamente de que un metabolismo basado en el consumo de oxígeno permita el despliegue de un tipo de vida mucho más complejo, expansivo y rico (lo que han puesto de relieve numerosos autores), sino de que, además, la persistencia de los océanos ha podido depender de la *opción por el oxígeno* que la vida acabó tomando, y que determinó, para miles de millones de años, la composición de la atmósfera del tercer planeta del sistema solar.

## **5. 8. Geofisiología**

Todo lo anterior nos sitúa ante el nacimiento de una *geofisiología*, disciplina que sólo puede poseer pleno sentido científico –y no simplemente metafórico– si se entiende la Tierra como un sistema autorregulado. Aunque no necesariamente como un ser equiparable en todo a un organismo biológico gigantesco. Sea como fuere, la disciplina en cuestión ha nacido ya *de facto*, aunque todavía se discuta su legitimidad. Es, pues, una de las *ciencias de la Tierra*, plurales, en que se divide actualmente el estudio de esa realidad única que constituye “el planeta viviente”. Y lo cierto es que no le falta materia a esta nueva disciplina, porque las ciclicidades bioides son abundantísimas en la Tierra. Ya hemos citado varias, pero hay desde luego muchas más; de hecho, al ser la vida el fenómeno autoorganizativo fundamental de las geosferas exteriores, prácticamente todos los elementos químicos que juegan un papel relevante en biología cierran ciclos que refuerzan el semblante orgánico de la naturaleza terrestre.

### **5. 8. 1. La salinidad oceánica**

También las condiciones del medio (y no sólo la temperatura) experimentan regulaciones que presentan analogías con las que caracterizan a los seres vivos. Consideremos, por ejemplo, la salinidad de los océanos, ya evocada al principio del capítulo. A partir del 6% (en peso) de ión cloruro, la presión osmótica hace estallar las células, y la existencia de seres vivos se vuelve muy difícil. Hoy sabemos que existen organismos halófilos que sí pueden vivir en condiciones de elevada concentración salina, pero son excepcionales, y la desolación del Mar Muerto (un lago de salmuera) muestra que la vida no podría conocer un gran florecimiento en un medio líquido de características parecidas a las suyas. Ahora bien, los volcanes expulsan grandes

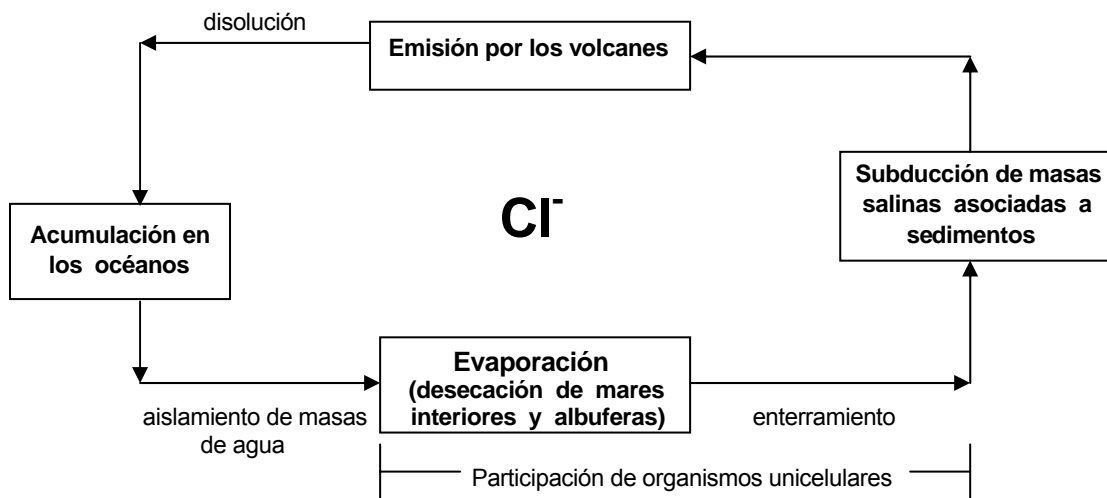
cantidades de cloruros desde el origen del mundo, y hoy en día lo siguen haciendo, pese a lo cual el grado de concentración salina de los mares queda todavía a una gran distancia del umbral crítico.<sup>108</sup> Tiene que haber, pues, algún mecanismo de retirada de sal que compense las continuas aportaciones. Dicho mecanismo debe tener que ver con el enterramiento, a gran profundidad en el subsuelo, de masas enormes de sal producto de la evaporación de mares interiores o de lagunas costeras. Los potentes estratos salinos hallados en el curso de sondeos realizados en el fondo del Mediterráneo, evidenciando que el mar por excelencia de la cultura clásica conoció un episodio de desecación en el Terciario Superior, indican también que la retirada de sal por vía de evaporación puede ser, en efecto, importante, y a lo mismo apuntan las grandes minas de sal. Lovelock especula sobre el posible papel que podrían jugar los tapices bacterianos que muy frecuentemente recubren las costras salinas que se forman a orillas de las lagunas litorales, contribuyendo a impermeabilizarlas y evitar su redisolución.<sup>109</sup> Y por lo demás, también la formación de lagunas litorales, verdaderos laboratorios evaporíticos, cae en muchos casos bajo control del biota: recordemos las barreras coralinas. Tendríamos así unos mecanismos gáianos interviniendo en el cierre endógeno del ciclo del ión cloruro (Cl<sup>-</sup>).<sup>110</sup> Éste no deja de presentar cierta similitud con el ciclo del carbono, si bien el factor biológico participa menos en él. Su esquema sería el siguiente:

---

<sup>108</sup> Actualmente tal concentración es de un 3,4% y no parece que haya sido mucho mayor en época alguna anterior.

<sup>109</sup> Ver Lovelock, J., *Las edades de Gaia*, pp. 125-127.

<sup>110</sup> Caben, no obstante, algunas reservas tanto acerca de la viabilidad como, sobre todo, de la amplitud de los mecanismos lagunares de eliminación de sal propuestos por Lovelock.



### 5.8.2. Raíces termodinámicas

La panorámica de ciclos geofisiológicos presentada hasta aquí permite clasificarlos en dos tipos: 1. Los puramente exógenos, aquéllos que se cierran en las tres *matrices gaianas* (los medios básicos de Gaia), como las llama Tyler Volk: la atmósfera, los suelos y el océano <sup>111</sup>; 2. Los exógeno-endógenos que, como en los casos del carbono y del ión cloruro, poseen un tramo que pasa por las geosferas internas, normalmente haciendo intervenir la tectónica de placas. La importancia indudable de este segundo tipo de ciclos hace pasar a primer plano el tema de hasta dónde se extiende Gaia. Que no es, por cierto, idéntica a la geofisiología; diríamos más bien que Gaia *la tiene*, que pone en juego dinámicas de tipo fisiológico, y es eso precisamente lo que lleva a percibirla como una entidad integrada, susceptible –como tal– de merecer un nombre propio.

La *causa eficiente* de fondo que hace que las geosferas exteriores adquieran el sorprendente semblante orgánico que permite a los gaianos hablar de geofisiología, es la misma que ha impulsado la extensión planetaria de la vida y su acoplamiento –por

<sup>111</sup> Ver Tyler Volk, *Gaia toma cuerpo*, p. 138.

citar algo que está, a estas alturas, fuera de discusión— con la atmósfera: es el *flujo de energía solar* que baña la superficie terrestre, estableciendo un gradiente externo. La concepción de la biosfera como una macroestructura disipativa que se ha desarrollado en la superficie de la Tierra en respuesta a ese flujo concreto de energía libre que nos llega de la estrella central del sistema, junto con las exigencias que tal cosa comporta de coherencia global, mayor eficacia funcional y persistencia de la estructura en el tiempo (dentro de ciertos márgenes o condiciones-límite), da, a mi modo de ver, un espaldarazo importante a la hipótesis Gaia. Eso es lo que se desprende de, por ejemplo, las opiniones vertidas por E.D. Schneider y J.J. Kay en la conferencia que pronunciaron conjuntamente con ocasión de la conmemoración, en el Trinity College de Dublín, del cincuentenario del célebre opúsculo *¿Qué es la vida?* de Erwin Schrödinger. Los referidos autores afirmaron entonces que:

Si contemplamos la Tierra como un sistema termodinámico abierto, con un intenso gradiente impuesto por el Sol, la segunda ley reformulada sugiere que el sistema reducirá este gradiente echando mano de todos los procesos físicos y químicos a su alcance. Nosotros sugerimos que la vida en la Tierra es una forma más de disipar el gradiente solar inducido y, como tal, una manifestación de la segunda ley reformulada. Los sistemas vivos son sistemas disipativos lejos del equilibrio, con un gran potencial para reducir gradientes de radiación planetarios (Kay, 1984; Ulanowicz y Hannon, 1987).

El origen de la vida es el desarrollo de otra ruta para la disipación de gradientes de energía inducidos. La vida asegura la continuación de estas vías disipativas, y ha desarrollado estrategias para mantenerlas frente a un entorno físico fluctuante.<sup>112</sup>

Nótese que, en todo momento, nuestros autores se refieren a la vida como realidad terrestre global. Y que basta con que las “estrategias de mantenimiento frente a un entorno físico fluctuante” apunten a un Sol cuya radiación va en aumento, o a desestabilizaciones cósmicas de otro tipo (caídas de grandes meteoritos, por ejemplo), para que estemos ante otra manera de formular la hipótesis Gaia.

---

<sup>112</sup> Schneider, E.D. & Kay, J.J., “Orden a partir del desorden...” en *La biología del futuro*, p. 229.

## 5. 9. El “contexto de aplicación” de Gaia

Si entendemos el “contexto de aplicación” de una teoría exclusivamente como el entorno que crean las innovaciones tecnológicas que dependen de ella, está claro que el mismo es, en lo que se refiere a la hipótesis Gaia, bastante reducido<sup>113</sup>; y tal constatación podría incluso hacerse pesar negativamente en la balanza de la credibilidad de la teoría. Pero si ampliamos la comprensión de tal contexto, como estimo debe hacerse, y pasamos a captarlo como el marco integrado por todas las dinámicas práxicas –tecnológicamente “performantes” o no– que promueve una cierta teorización, entonces caben pocas dudas de que Gaia es una de las concepciones con mayor dimensión aplicativa que han visto la luz. Lo que pasa es que Gaia –digamos que por definición– no es prometeica; y apoya, en consecuencia, más el *principio de precaución* que el *principio de transgresión*. Lo que, sea dicho de paso, no es del agrado de los espíritus científicos al uso, que son en realidad *tecnocientíficos*. A sus ojos, un geofisiólogo gaiano es como un doctor Pedro Recio de la civilización tecnológica: diagnostica fiebres y otros males, y como remedio propone dietas que exigirían, para su cumplimiento, un cambio de mentalidad y de valores impensable desde la dinámica del industrialismo y del mercantilismo.

Como ejemplo de geodiagnóstico tomemos el que aparece como el más importante de todos los realizados hasta ahora: la “fiebre del dióxido de carbono”, el célebre calentamiento global. Hoy, en el año 2002, está ya bien establecido que la temperatura media de la superficie terrestre aumenta desde hace décadas a un ritmo muy rápido, debido al incremento en el porcentaje del CO<sub>2</sub> atmosférico que provoca la actividad antro-po-industrial. De modo que se habla ya con toda normalidad del “porcentaje

---

<sup>113</sup> Aunque no nulo: recordemos los detectores de gases biogénicos diseñados por Lovelock. En este apartado habría, quizás, que hacer entrar también el desarrollo de *energías alternativas*, como la solar y la eólica, que responden a la concepción de una Tierra integrada ecológicamente, la cual finalmente no está lejos de la gaiana.

preindustrial de CO<sub>2</sub>” (estimado, por cierto, en un 0,027%).<sup>114</sup> Interesa notar que, si bien la subida del CO<sub>2</sub> es constante desde que comenzaron a hacerse mediciones sistemáticas, en 1958, la función de t que expresa dicha variación es una línea dentada con un máximo y un mínimo anuales (ver fig. 24). La razón de esto es lo que Tyler Volk llama “la respiración de Gaia”, a saber el ciclo mundial que establece la masa vegetal continental del hemisferio norte (el que concentra la mayor parte de la vida subaérea), ciclo de acuerdo al cual cada invierno (y, por inercia, cada primavera) septentrional sube el CO<sub>2</sub> al predominar la función clorofílica, mientras que cada verano (prolongado por la mayor parte del otoño) ocurre justamente lo contrario. Pero dejando aparte este fenómeno curioso y significativo, que es totalmente natural, podría pensarse que el incremento industrial del CO<sub>2</sub> no tiene nada de gaiano, puesto que se trata simplemente de una inyección unilateral de gas carbónico, de la que resulta -sin más- un aumento de efecto invernadero. Esta interpretación aun siendo cierta, parece no obstante algo simplista, ya que *feedbacks* negativos típicamente gaianos tienden a surgir espontáneamente en la nueva situación, como los que representan la extensión

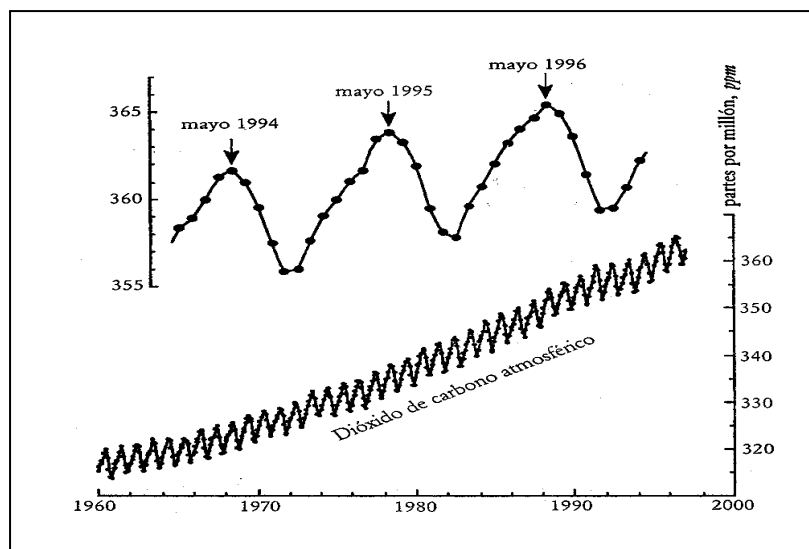


Figura 24. “Respiración de Gaia” según Tyler Volk

<sup>114</sup> Ver, p. ej., Tyler Volk, *Gaia toma cuerpo*, p. 25.

de los bosques septentrionales (Siberia, Canadá...) y la proliferación de algas en mares y océanos, que se están observando últimamente. Claro que el hombre puede actuar en contra de estas reacciones estabilizadoras, sobreexplotando e incendiando los bosques, y es entonces cuando el proceso toma un sesgo realmente crítico: ¡viene a ser como cubrir con mantas a un enfermo con fiebre alta!<sup>115</sup>

Leyendo los textos de Lovelock y otros estudiosos de la geofisiología gaiana, queda bastante claro que esta *fiebre antrópica del dióxido de carbono* es la patología que más les preocupa. Ahora bien, más allá del dato actual –desde luego, inquietante– de una subida rápida de la temperatura media del planeta asociada al incremento, de origen industrial, del CO<sub>2</sub>, apunta un segundo problema global relacionado con la continuidad del modelo energético actual, que podría tener un alcance mucho mayor aun. Dicho problema es el siguiente: si el enterramiento a gran profundidad de un cierto porcentaje de materia orgánica, origen de los yacimientos de carbón y de hidrocarburos, ha tenido realmente la importancia que señalan los teóricos de Gaia, de cara al enriquecimiento secundario de la atmósfera en oxígeno molecular, ¿no será entonces la explotación a gran escala de esas sustancias fósiles, y la utilización masiva de las mismas como fuentes de energía, una actividad susceptible de influir, a medio o a largo plazo, en la composición de la atmósfera? ¿Acaso no impone la identificación del proceso natural que ha conducido a los niveles actuales de oxígeno, un límite a la quema de los mismos materiales cuya acumulación lejos de toda posibilidad oxidativa es lo que puso en marcha tal proceso?

---

<sup>115</sup> Conviene, no obstante, tomar nota de una observación del propio Lovelock publicada en 1994: al parecer, las algas dejan de contribuir a estabilizar globalmente el clima cuando la temperatura media terrestre se eleva por encima de 13 ó 14°C (la temperatura actual), pasando entonces a impulsar bucles de retroalimentación *positivos* ( ! ), y lo mismo sucedería con las plantas vasculares por encima de los 20°C de temperatura media. Ahora bien, “como tal situación térmica se ha dado a veces en el pasado, *otros mecanismos reguladores deben de haber operado en semejantes condiciones de clima cálido.*” Y Lovelock propone, como alternativa concreta, la proliferación mayor de organismos potenciadores de la meteorización de las rocas. (Ver: Lovelock, J.E. & Kump, L.R., “Failure of climate regulation in a geophysiological model”, *Nature*, 369, 1994, pp. 732-737).



Dada la trascendencia ecológica del tema, ampliaré un poco más el razonamiento que acabo de esbozar. Parece obvio que de ser cierto que el enriquecimiento en O<sub>2</sub> de la atmósfera, hasta el 21% actual, es debido *sobre todo* a la retirada de carbono reducido, que pasa a engrosar la ingente masa fósil que forman el carbón y los hidrocarburos, entonces la combustión masiva, provocada artificialmente, de esas sustancias tendría que acabar, por fuerza, causando una disminución sensible del O<sub>2</sub> atmosférico. Como, al parecer, tal disminución no se constata<sup>116</sup>, ello sólo se puede deber, pienso yo, a alguno de los siguientes motivos:

1. Las reservas de combustibles fósiles son mucho mayores de lo que se supone normalmente.<sup>117</sup>
2. La mayor parte, con mucho, del carbono orgánico retirado del ciclo oxidativo está en forma dispersa, no en forma concentrada (yacimientos), por lo que no resulta explotable. Es esta la explicación que me suministra Peter Westbroek.<sup>118</sup> Me pregunto, de todos modos, si existen estudios sobre el porcentaje aproximado del carbono fósil que acaba formando yacimientos.
3. La hipótesis explicativa del incremento del oxígeno que apoyan los científicos gaianos es falsa.

En cualquier caso, tratar de falsar la teorización en cuestión referente al origen del oxígeno atmosférico, y confrontarla a otras explicaciones alternativas, aparece como una tarea de la mayor importancia, pues si la explicación preferida por los científicos

---

<sup>116</sup> Aunque cabe, de entrada, preguntarse si tal no constatación no puede tener algo que ver con una eventual inadecuación, o falta de afinamiento, de las técnicas de medición utilizadas, no vaya a suceder aquí como con el paralaje de las estrellas fijas en tiempos de Copérnico y Galileo, que se tenía por nulo siendo así que no se contaba con instrumentos lo suficientemente precisos.

<sup>117</sup> Tal cosa no me parece, por lo demás, inconcebible: aparte de que las prospecciones que se llevan a cabo pueden no ser tan eficientes, me pregunto hasta qué punto es imposible que embolsamientos de hidrocarburos, enquistados en la matriz sedimentaria, sean arrastrados por las losas litosféricas subducientes hasta profundidades inaccesibles.

<sup>118</sup> Comunicación personal, febrero de 2003.

gaianos resistiera finalmente, entonces lo que podría estar poniendo en juego la explotación a gran escala de combustibles fósiles sería ¡nada menos! que el mantenimiento de los niveles actuales de oxígeno atmosférico, aunque sea a largo plazo. Esta consecuencia de la teoría pasaría, entonces, por delante del calentamiento global, los vertidos de crudo, etc., con ser éstos gravísimos efectos *a corto plazo* de la apuesta civilizatoria (y sobre todo, económico-política) por las citadas fuentes de energía.

Vemos que el contexto de aplicación de la hipótesis Gaia es, efectivamente, atípico en la medida en que no puede asimilarse a “contexto de utilización” como sucede normalmente (la teoría de la electricidad permite *utilizarla*; lo mismo sucede con la teoría de la energía del núcleo atómico, etc.). Esto parece una consecuencia derivada de la visión sistémica: las “realidades de orden superior” (al humano individual) no pueden ser verdaderamente utilizadas –como sí pueden serlo, en cambio, las realidades o entidades de orden inferior–, aunque sí pueden verse *afectadas* por el comportamiento antrópico. La estrecha alianza, histórica y actual, entre reduccionismo y pragmatismo se explicaría de este modo. Y también, por el lado contrario, el respeto –o la irritación, dependiendo de idiosincrasias– que las “realidades de orden superior”, como Gaia, llegan a inspirar.

La más importante aplicación –no utilitarista– de la teoría de Gaia es, pues, con mucho, la consistente en la transformación que promueve en la actitud de los seres humanos hacia su planeta, con todo lo que ello implica a muy diferentes niveles. En el político-económico, en concreto, tenemos la planificación de un *desarrollo sostenible*. Es muy posible que sin la sensibilidad ecológica en ascenso, tan cercana en el fondo a la idea de Gaia, semejante meta no se hubiera ni siquiera planteado. Y también lo es que sin una nueva ciencia geofisiológica centrada en la investigación de los ciclos químicos y energéticos del planeta, dicha planificación no resultara técnicamente viable.

## 5. 10. Resumiendo: un gran debate de fondo

Salpicado, como lo está, por un intenso chapoteo emocional de origen, en parte, extracientífico, el debate estrictamente científico sobre el modelo teórico de una Tierra autoorganizada globalmente desde la biosfera, propuesto por Lovelock y Lynn Margulis, necesita de entrada serenarse. Aunque no es, desde luego, el único caso a que podemos remitirnos. Recordemos el escándalo que rodeó la formulación de la teoría de la evolución, e incluso las ruidosas polémicas que jalonan la historia de la geología clásica.

Pero incluso sin haberse producido del todo ese deseable enfriamiento (y hay que reconocer que la radical –y conveniente– inserción de la ciencia en la sociedad y en la dinámica cultural general no lo facilita), la tónica que últimamente marcan publicaciones científicas como *Nature* muestra que la hipótesis Gaia ha pasado de ser vista como una mera conjetura especulativa a gozar de la respetabilidad que se le debe a una idea arriesgada pero verosímil y que ha dado ya pruebas de ser fructífera.

Dejando aparte la cuestión del nombre, los puntos señalados al comienzo del presente capítulo como causas principales de las reservas de los científicos hacia Gaia han centrado, en buena medida, el vivo debate que se ha venido desarrollando y que continúa. El mismo me sugiere algunas reflexiones:

1. De algún modo, la hipótesis (o teoría) de Gaia constituye, hoy por hoy, un contrapunto holístico al mayor énfasis en el enfoque reduccionista de lo viviente que implica el desarrollo triunfal de la biología molecular en las últimas décadas. El hecho es que la exploración de los mecanismos de almacenamiento y transmisión de los caracteres genéticos no resuelve (porque, de hecho, *tampoco lo aborda*) el problema de la naturaleza esencial de la vida. De este problema sí que se ocupan, en cambio, los teóricos de las estructuras disipativas, con quienes pronto conectaron los estudiosos de

Gaia.<sup>119</sup> Parece que estamos ante una cierta dicotomización paradigmática entre, por un lado, la biología molecular y la ingeniería genética (institucional y económicamente super-hegemónicas) y, por otro, la corriente geobiológica gaiana y la biológica simbiotista, muy relacionadas ambas entre sí.

A mi modo de ver, el resultado de mayor interés científico a que el debate sobre Gaia ha dado ya lugar, tiene que ver con la identificación del flujo concreto de energía asociado a la estructura disipativa que es, a fin de cuentas, biosfera / Gaia (siendo asimilables ambos términos, a tal efecto). Se trata del *flujo solar*, de la radiación que recibe la Tierra de la estrella central del sistema; radiación creciente, según parece, a lo largo del tiempo.

2. La necesidad de incluir la condición de “evolucionar mediante selección natural” en la definición de las entidades vivas constituyó desde el primer momento, ya lo hemos visto, uno de los principales argumentos en contra de la hipótesis Gaia. El giro decisivo en lo concerniente a este aspecto del debate lo ha introducido el concepto de ciclos de retroalimentación (*feedbacks*) selectivos organismos-medio desarrollado sobre todo por Timothy Lenton. Lo que este autor plantea *-grosso modo-* es que no sólo los organismos se seleccionan de acuerdo a su mejor o peor adaptación al medio, sino que además *transforman el medio*. Esto no lo hace cada especie por separado (excepto seguramente la humana), sino que en tal transformación participan conjuntos de taxones que realizan funciones bio-geoquímicas equivalentes. El resultado es una inextricable *evolución conjunta biota-medio* que responde a un complejo modelo cibernético uno de cuyos parámetros es la selección natural resituada en un contexto sistémico.<sup>120</sup>

Ilya Prigogine, por su parte, ha venido manteniendo un punto de vista muy similar:

---

<sup>119</sup> Otra referencia a añadir a las ya suministradas: Margulis & Sagan, *op. cit.*, pp. 71 y 74-75.

<sup>120</sup> Lenton, T.M., “Gaia and natural selection”, *Nature*, 394, 1998, pp. 439-447.

De manera general, cabe decir que muchas innovaciones son, desde luego seleccionadas, pero por un medio ambiente que ellas mismas han contribuido a crear. El proceso evolutivo no tiene, pues, por motor la presión selectiva; su lógica no es, sin más, la de las exigencias del medio.<sup>121</sup>

Tyler Volk aborda también esta temática en su libro ya varias veces citado, lo que mueve a Westbroek a hacer el siguiente comentario:

Volk argumenta convincentemente que Gaia puede ser comparada a un sistema fisiológico, aunque no evolucione en el sentido darwinista estricto. (...)

Numerosos ejemplos discutidos por Volk indican que Gaia está realmente organizada, al menos en un cierto grado, pese a las reservas teóricas de los biólogos evolucionistas. Volk plantea que, en vez de una [*inexistente*] selección natural entre “sistemas vivos planetarios”, la proliferación misma de la vida dentro de los condicionamientos de un sistema como el que constituye Gaia es lo que hace surgir una organización global automáticamente.<sup>122</sup>

3. El supuesto teleologismo intencional de Gaia, insistentemente denunciado por numerosos científicos desde el instante mismo en que Lovelock dio a conocer su hipótesis<sup>123</sup>, va camino de deshinchase totalmente como argumento, y si tal cosa no ha acabado ya de producirse es sin duda a causa de la confusión que crean algunos seguidores de la *espiritualidad de Gaia*, que se ha difundido ampliamente y que el investigador inglés no considera adecuado criticar en exceso. La debilidad de la referida línea argumental proviene de no tener en cuenta el semblante teleológico que la recursividad cibernética hace aparecer. Dicha recursividad puede resultar fundamental de cara, incluso, a explicar el clásico intencionalismo característico del dominio biológico, especialmente en lo que se refiere a sus escalones inferiores. Recordemos que Lovelock ya sugirió una explicación cibernética de Gaia en la

---

<sup>121</sup> Prigogine, I. & Stengers, I., *op. cit.*, p. 264.

<sup>122</sup> Westbroek, P., “*Gaia’s Body: Towards a Physiology of Earth*”, *Nature*, 391, 1998, pp. 550-551.

<sup>123</sup> Ver., p. ej., Doolittle, W., “Is Nature really motherly?”, en *Co-evolution Quarterly*, spring 1981, pp. 58-63.

primera descripción que dio de ella. Y, siempre en la misma línea, dice en su tercer libro:

Describo a Gaia como un sistema de control con el que cuenta la Tierra; un sistema auto-regulador similar a esos termostatos que regulan la plancha o el horno de nuestra casa.(...) Lo más aproximado que puedo decir de Gaia es que es un sistema en evolución, compuesto por todas las cosas vivas y por su medio ambiente (los océanos, la atmósfera y las rocas), estando ambas partes acopladas firmemente y de forma insoluble. Se trata de un “dominio emergente”, de un sistema que ha surgido sobre la Tierra, de la interacción de los organismos y su entorno, a través de los eones.<sup>124</sup>

4. El problema de la no-refutabilidad de la teoría de Gaia parte de la adhesión de la mayor parte de la comunidad científica al *falsacionismo* popperiano. Incluso sin poner en tela de juicio esta apuesta epistemológica, cabe señalar que a menudo son los mismos que miran para otro lado cuando se enfrentan a la dificultad de “falsar” la teoría de la evolución o determinadas teorías cosmogónicas, los que exigen que se diseñen inequívocos experimentos cruciales para Gaia. Los críticos podrían replicar que: a) las teorías que se acaban de aludir son consistentes con el contexto general de los conocimientos científicos admitidos, y la hipótesis Gaia no lo es; b) tales teorías son capaces de explicar numerosos datos, por mucho que no se puedan hacer predicciones *sensu stricto* a partir de ellas. Pero creo que a los defensores de Gaia no les resultaría difícil contestar. A lo primero, aclarando que la teorización de un sistema geobiológico a escala planetaria es, en todo caso, consistente con la revolución científica en que va camino de convertirse la termodinámica prigoginiana, que incluye una serie de conceptos-clave tales como “estructura disipativa”, “inversión local del crecimiento entrópico” y “sistema autoorganizado”, los cuales integran un marco teórico en el que tiene perfecta cabida la *criatura* de Lovelock y Margulis. Y a lo segundo, señalando que no sólo la teoría de Gaia permite resituar y entender un amplio conjunto de observaciones, sino que ya se han hecho predicciones que se han revelado exactas, basándose en ella. Así, la de Lovelock suponiendo que debían existir

---

<sup>124</sup> Lovelock, J.E., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta*, p. 11.

importantes fuentes biogénicas de azufre en estado gaseoso en las áreas oceánicas. Igualmente, la confirmación de que el mayor *sumidero de carbono* del planeta es, con gran diferencia, el biológico.

Dicho esto, quisiera añadir que, en mi opinión, la teoría de Gaia posee dos niveles epistémicos bien diferenciados, con características opuestas en lo que se refiere a las posibilidades de falsación. Yo creo que Gaia es tanto una teoría científica a la que se puede y se debe exigir falsabilidad, como una concepción filosófica en la que la Naturaleza está representada paradigmáticamente por la Tierra, el único planeta del sistema solar en el que la vida ha alcanzado pleno florecimiento. En este segundo aspecto, la concepción resucitada por Lovelock no sería falsable. Pero, por lo demás, en esta faceta suya de *paradigma de la integración ecológica*, la concepción de la Tierra como referente por excelencia de un *mundo vivo interconectado* está a mil leguas de ser estéril como de hecho sostienen no pocos detractores de la hipótesis Gaia. Pues se trata, en todo caso, de una poderosa *idea reguladora* que obliga a reflexionar a fondo sobre una noción, la de vida, que los biólogos centrados en la investigación de los niveles molecular y organísmico no han conseguido hasta la fecha captar de manera sintética, esto es, *comprender*, más allá de la elaboración de unas listas de rasgos que no acaban de ser totalmente convincentes, y de promover una manipulación instrumental en la que la lógica económico-industrial pasa enseguida a llevar la voz cantante.<sup>125</sup> Una idea reguladora cargada, por lo demás, de sugerencias epistemológicas y éticas de largo alcance y de gran pertinencia en el momento tan crítico en el plano ecológico que vive actualmente la humanidad.

---

<sup>125</sup> Aparte de que no pocos percibamos un respeto claramente insuficiente por algo que, en el fondo, no se conoce tanto como se afirma.

## Capítulo 6. GAIA Y TÁRTARO. DUALIDAD Y COMPLEJIDAD EN EL SISTEMA TIERRA

### 6. 1. Sistemas : de la parte al todo

#### 6. 1. 1. Sobre el difícil e imprescindible término “sistema”

Resultan obligadas unas palabras de introducción acerca de un término y concepto, el de *sistema*, que si, por un lado, parece omnipresente en la historia de la ciencia y de la filosofía modernas, ha adolecido, por otro, hasta muy recientemente, de una definición tan pobre y contradictoria que numerosos científicos y filósofos de la ciencia tienen dificultades para utilizarlo.

Desde el siglo XVII hasta finales del XIX, la palabra “sistema” se utilizó profusamente, y se diría que por auténtica necesidad, para referirse a conjuntos, de algún modo, organizados, tanto de objetos o entidades como de ideas o conceptos. El *sistema solar*, conjunto ordenado de cuerpos en movimiento, ocupaba el puesto de honor desde su consagración definitiva por Kepler y Galileo<sup>1</sup>; y ese mismo sistema solar exigía una nueva física que sustituyese a la aristotélica, esto es, demandaba un nuevo *sistema general del orden cósmico*, un “sistema legal” universal como el que Newton aportó a finales del siglo XVII. A estos dos tipos de sistemas vinieron enseguida a añadirse los *sistemas de la Naturaleza* de corte dieciochesco, de los que el más conocido lo constituye la sistemática de Linneo, que

---

<sup>1</sup> Autor, como es de todos conocido, del *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*.



vio la luz entre 1735 y 1768. Los filósofos, por su parte, se apropiaron también del término (recordemos que el vocablo griego original, *συστημα*, significa simplemente “reunión ordenada de cosas”), y los *sistemas de pensamiento*, o filosóficos, pasaron a estar al orden del día, debiendo entenderse como exposiciones articuladas del orden supuesto de la Realidad, humana, física y/o metafísica. Los *sistemas políticos* se entendieron pronto como guardando estrecha relación con los anteriores.

Jean-Louis Le Moigne nos recuerda que, para tratar de deshacer el creciente embrollo, el enciclopedista francés Condillac escribió un *Tratado de los Sistemas* (1749-1754) así como el artículo “Système” de la *Encyclopédie raisonnée des Arts et des Métiers*. Dice este autor: “No hay ciencia ni arte en los que no se puedan establecer *sistemas*. Pero en unos casos se trata de dar razón de ciertos efectos, y en otros, de prepararlos y traerlos a la existencia. El primer caso es el de la física; el segundo, el de la política.” Y añade que “todo es sistema, así para el pueblo como para el filósofo.”<sup>2</sup>

La definición que Condillac da de sistema ha sido calificada de instrumentalista por unos y de fenomenológica e intuicionista por otros: “Sistema -dice- es lo que permite al espíritu humano captar el encadenamiento de los fenómenos.”<sup>3</sup> Volveré sobre esta definición temprana, que encuentro rica en sugerencias.

Vista con la perspectiva que dan casi tres siglos, la larga controversia sobre el auténtico significado del término “sistema” y sobre su validez epistémica aparece como un pulso dialéctico en el que lo que verdaderamente ha estado siempre en juego es la dicotomía reduccionismo-holismo; o, si se quiere, la pugna –pese a apariencias superficiales, jamás resuelta– entre la concepción mecanicista cartesiana y otras visiones de la naturaleza que encerraban, y encierran, un fondo vitalista o animista, en el sentido original –no peyorativo– de ambos términos. Ello es así

---

<sup>2</sup> cit. por Le Moigne, J.-L., “Système” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 901.

<sup>3</sup> *ibid.*, p. 901.

puesto que por “sistema” se ha entendido siempre “composición de algo”, de una multiplicidad de cosas; pero esa composición puede o bien ser convencional, creada por nuestra mente sin que nada semejante exista en la naturaleza (“los sistemas no están en la naturaleza sino en el espíritu de los hombres”, decía Claude Bernard), o bien puede estar *ante todo* en la naturaleza, de manera que nuestra conciencia se limite a captar o reflejar una realidad coherente. Ahora bien, esta disyuntiva nos pone ante el siguiente dilema: como no cabe duda que percibimos cosas organizadas, así como similitudes claras entre entidades (origen de los grupos taxonómicos) e igualmente funcionamientos coherentes (sistemas dinámicos, ecológicos, sociales, etc.), podemos pretender dar cuenta de todo ello considerándolo *epifenómico*, meras apariencias superficiales producidas por las combinaciones (o composiciones) de un “algo” fundamental microscópico, que serían las moléculas o los átomos (o los quarks...), en cuyo caso todos los sistemas acaban siendo convencionales, son -en alguna medida- “constructos”; o, alternativamente, podemos admitir que lo que percibimos son *realidades intrínsecas*, verdaderas *entidades*, no descomponibles sin desnaturalización radical, sin pérdida de esencia, en partes elementales. El dilema es innegablemente ontológico, y según se apueste por una u otra concepción, la idea de sistema que resulta es completamente distinta. Si se apuesta por la primera, los sistemas se entienden sobre la base del recuento y la clasificación (*sistemática*) y también como formalizaciones de composiciones de fuerzas (sistemas mecánicos), mientras que la apuesta por la segunda desemboca sobre lo que se conoce, hoy en día, por *sistémica*. Esta paradójica “disciplina interdisciplinar” –que es, al mismo tiempo, una visión del mundo– defiende la irreductibilidad de las realidades-sistemas, y da testimonio del nacimiento, en el último tercio del siglo XX, de una seria alternativa al cartesianismo. Aunque se la puede ver también como la cristalización, en una visión coherente y sólidamente fundamentada a nivel empírico, de un amplio mar de fondo antimecanicista que nunca ha dejado de estar presente.

### 6. 1. 2. El universo organísmico de von Bertalanffy

A caballo entre la biología -disciplina de la que procedía- y la filosofía, Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) desarrolló una aproximación a la estructura del mundo que tiene la virtud de situarse en ese difícil punto de equilibrio entre la evidencia intuitiva y el rigor racional que con tanta frecuencia se malinterpreta, pero que no pocos tenemos por eminentemente lúcido y fructífero.

Bergsonianamente implícitamente, y asumiendo de manera explícita la herencia alternativa de Nicolás de Cusa, Giordano Bruno, el Leibniz de la *Monadología* y Goethe<sup>4</sup>, von Bertalanffy constata de entrada que no existe razón alguna de peso para considerar como “el fundamental” ninguno de los escalones jerárquicos en que se nos muestra organizada la realidad, sea esta física, biológica, humana o conceptual. La vía analítica conduce a la identificación de las entidades que subyacen a una cualquiera dada, las cuales son tan indiscutiblemente reales como incapaces de dar cuenta *completa* de la entidad analizada. Y esto no ocurre sólo en el campo de lo viviente, sino también en muchos otros, así infra como suprabiológicos. Es así que la aproximación meramente atomista, o individualista, a los seres vivos y al hombre, no basta para dar cuenta de los ecosistemas, ni de las sociedades, culturas, etc.

Von Bertalanffy hace remontar muy atrás el origen del concepto de “sistema”. Dice, en el arranque de su ensayo *The History and Status of General Systems Theory*:

Para evaluar el “enfoque sistémico” moderno conviene considerar la noción de sistema no como una moda pasajera o una técnica reciente. (...) La filosofía y su descendiente, la ciencia, nacen en el instante mismo en que los griegos aprenden a ver o a encontrar en el mundo de la experiencia, un orden o *cosmos* inteligible y, por ende, controlable mediante el pensamiento y la acción racional.

---

<sup>4</sup> Ver von Bertalanffy, L., *Perspectivas en la teoría general de sistemas*, E. Laszlo (ed.), Alianza Editorial, Madrid, 1992, especialm. cap. 3 (“El legado de Cusanus”) y pp. 111-112.

Un modo de formular este orden es la cosmología aristotélica, con sus nociones holísticas y teleológicas concomitantes. El *dictum* aristotélico “el todo es más que la suma de las partes” es una definición aun válida del problema sistémico fundamental. Aunque la teleología aristotélica fue eliminada en el desarrollo ulterior de la ciencia occidental, los problemas que ponía de relieve, como el del orden y la directividad orientada a metas de los sistemas vivos, fueron negados o dejados de lado, pero no resueltos, de modo que siguen todavía en pie.<sup>5</sup>

Unas líneas más adelante, von Bertalanffy prosigue:

Cabría circunscribir la evolución científica de los siglos XVI y XVII diciendo que sustituyó la concepción descriptivo-metafísica del universo, sintetizada en la doctrina aristotélica, por la concepción matemático-positivista de Galileo. En otras palabras, a la visión del mundo en cuanto que cosmos teleológico sucede la descripción de eventos mediante leyes matemáticas causales.

Nótese que hemos dicho sustituir, no eliminar, pues el *dictum* aristotélico de que el todo es superior a las partes se mantuvo firme. Debe insistirse en que el orden u organización de un todo o sistema, que trasciende a sus partes cuando éstas se consideran aisladas unas de otras, no es asunto que tenga que ver con la metafísica, ni tampoco constituye materia de superstición antropomórfica o de mera especulación filosófica; es sencillamente un hecho observable en cualquier organismo vivo, grupo social, o inclusive en el átomo.<sup>6</sup>

¿Cuál es, según von Bertalanffy, el “plus” que hace que las entidades del nivel ontológico  $x+1$  sean irreductibles finalmente a las del nivel  $x$ ? Su respuesta es clara: las interrelaciones dinámicas, matemáticamente formalizables, que vinculan entre sí los elementos (del nivel  $x$ ) que componen la entidad en cuestión (perteneciente al nivel  $x+1$ ). Esto le lleva a apostar por una concepción del mundo esencialmente dinámica y matemática; Heráclito y Pitágoras quedan, para él, hermanados.

Hacia el final de su vida, von Bertalanffy relacionaba su propia concepción con varios desarrollos teóricos independientes que apuntan, todos ellos, hacia una cosmovisión similar, si bien dotada de unos esqueletos formales que él no llegó a

---

<sup>5</sup> *ibid.*, p. 137.

<sup>6</sup> *ibid.*, p. 138.

establecer. Se trata sobre todo de la teoría cibernética de Wiener, desarrollada en los años 40 y 50, y de la -novísima en su tiempo- termodinámica de sistemas lejos del equilibrio (Prigogine), dos teorías que von Bertalanffy tuvo tiempo de conocer. De la cibernética wieneriana (que encuentra, en conjunto, demasiado “tecnologista”), retiene esencialmente la noción de *circuito de retroalimentación*, entendido como un mecanismo capaz de fundamentar formas de organización teleonómicas. Y en la naciente termodinámica del no-equilibrio encuentra von Bertalanffy una luminosa confirmación de sus propias ideas intuitivas, que él concibiera en los años 20 y 30, casi medio siglo antes de que fuesen formuladas y justificadas rigurosamente en el marco de la escuela de Bruselas. Dice nuestro autor:

Desde el amanecer de la filosofía griega nos ha llegado el *dictum* de Heráclito de Efeso: *panta rhei*, todo fluye. Así argumentaba Heráclito contra la filosofía rival de Parménides y sus discípulos eleatas, quienes enseñaban que sólo el ser estático es real, siendo por consiguiente todo cambio ilusorio. De una forma o de otra, esta controversia ha persistido en todas las fases por las que ha pasado la filosofía y la ciencia de Occidente. El punto de vista eleata es inherente al atomismo y encuentra expresión en una biología que pone de relieve la estructura a expensas de la función y compara el organismo con un cristal. Para el heracliteo, la estructura es resultado de la función, y el organismo semeja menos un cristal que una llama. Donde el científico *eleata moderno* ve por doquier sistemas en equilibrio, el *heracliteo* habla en términos de procesos irreversibles y de estados estables.(...)

De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, un sistema cerrado *debe* alcanzar finalmente un estado de equilibrio independiente del tiempo, con máxima entropía y mínima energía libre. Pues bien, un sistema abierto *puede*, bajo ciertos supuestos, alcanzar un estado independiente del tiempo, donde el sistema permanece constante como un todo y en sus fases, aunque exista un flujo continuo de los materiales que lo integran. A esto se llama estado estable.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> *ibid.*, pp. 115-116.

### 6. 1. 3. Sistemas y Formas

Von Bertalanffy manifiesta su interés por llegar a construir una *ontología sistémica*, lo que pasa -según sus propias palabras- por definir inequívocamente qué se entiende por sistema y cómo los sistemas se materializan en los diversos niveles del mundo. Las dificultades que presenta tal programa no se le ocultan, sin embargo, dada la enorme diversidad de las entidades que pueden, en principio, ser caracterizadas como sistemas. “Parece claro -dice- que una galaxia, un perro, una célula o un átomo constituyen “sistemas”. Pero ¿en qué sentido cabe decir que una sociedad humana o animal, que el lenguaje, la personalidad o las matemáticas son también sistemas?”<sup>8</sup> Para responder a esta pregunta, von Bertalanffy se ve obligado a postular dos tipos diferentes de sistemas: *reales* y *abstractos*. Los primeros son las entidades “organísmicas” empíricas, tales como los seres vivos (pero no sólo ellos); y en cuanto a los segundos, se trata de sistemas que únicamente pueden existir en el campo de nuestra experiencia subjetiva, pese a poseer estructuras unificadoras que hacen de ellos sistemas verdaderos. Dice von Bertalanffy al respecto: “Entre los sistemas conceptuales estarían la lógica y las matemáticas, que son esencialmente constructos simbólicos (pero que también incluyen la música, por ejemplo) y de los que una subclase son los sistemas abstractos *sensu stricto* (las ciencias): sistemas conceptuales que tienen correspondencia con la realidad.”<sup>9</sup> Se hace aquí evidente la convergencia entre la teoría de Sistemas y la *Gestalt*, y es de notar que el propio von Bertalanffy se dio perfecta cuenta de ello, como lo demuestra la siguiente referencia suya a la teoría psicológica de la Forma:

La psicología, en la teoría de la Gestalt, había planteado ya la cuestión de que un todo psicológico (las configuraciones percibidas, por ejemplo) no pueden resolverse en unidades elementales como las excitaciones de la retina o las sensaciones puntuales.(...) Köhler casi llegó a generalizar la teoría de la Gestalt en la teoría general de Sistemas.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> *ibid.*, p. 152.

<sup>9</sup> *ibid.*, p. 152.

<sup>10</sup> *ibid.*, pp. 139 y 141.

Esta última cita vuelve a poner sobre la mesa la cuestión –varias veces sugerida ya– de ese puente entre ontología y fenomenología que se revelaría capaz de explicar la convergencia que apuntamos entre dos teorías que cubren territorios aparentemente sin relación. Notemos, de paso, que semejante puente –que vendría a salvar un “abismo” que, a la postre, podría no ser tal– fue vislumbrado por Ortega. Dice Manuel Granell en su Introducción a *El tema de nuestro tiempo*:

Tratemos ahora de oír bien [a Ortega]: “El *aspecto* pertenece a la cosa, es –si queremos decirlo crudamente– un pedazo de la cosa. Pero no es sólo *de* la cosa: no hay *aspecto* si alguien no mira. Es, pues, *respuesta de la cosa* a un mirar.” Colabora con el responder al mirar de “quien hace que de la cosa broten *aspectos*”. Pero colabora también el aspecto: “la cara que nos pone”, a nosotros, la realidad. Bien se advierte por qué ha calificado [Ortega] este proceso de *serie dialéctica*.<sup>11</sup>

#### 6. 1. 4. Una fenomenología de raíz ontológica

Me parece que los puntos de contacto entre la *Gestalt* y la teoría de Sistemas, así como las anteriores reflexiones orteguianas, apuntan de hecho a una fenomenología de raíces ontológicas hacia la que también parecía mirar Merleau-Ponty. Y que, igualmente, se inscribe en interesantísimos horizontes teóricos de hoy mismo, que van de la escuela de Santiago (Varela y Maturana) a la de Bruselas (Prigogine y colaboradores). Es, de hecho, esta conexión de la TGS con la *Gestalt*, que el mismo von Bertalanffy había detectado, la que suministra una importante clave para empezar a entender tanto la muy intuitiva definición de Condillac como el intuicionismo desplegado por von Bertalanffy en orden a identificar los que él denomina *sistemas verdaderos*.

---

<sup>11</sup> Granell, M., Introducción a la 20ª edición de Ortega y Gasset, J., *El tema de nuestro tiempo*, Espasa-Calpe, Austral, Madrid, 1995, pp. 14-15. Granell se refiere obviamente al ensayo de Ortega *Origen y epílogo de la filosofía*, capítulos II (“Los aspectos y la cosa entera”) y III (“Serie dialéctica”).

Y puede también, en mi opinión, aportar un principio de justificación racional a la noción bergsoniana de *intuición*, que el filósofo francés aplicaba, como es bien sabido, ante todo a la aprehensión de lo viviente y de cuanto se relaciona con la vida. Trataré de explicar mi punto de vista: si realmente se cuenta con una ontología no reductiva y poseedora además de aspectos cualitativos (las nuevas *cualidades emergentes* en cada nivel sistémico), entonces es perfectamente natural que el psiquismo de los seres vivos (y no sólo el de los seres humanos, de ahí el semblante prerracional de la intuición) haya desarrollado modos de captación adaptados a esa “manera de ser la realidad”. La “intuición de los sistemas verdaderos” en von Bertalanffy, la “intuición de lo vivo por lo vivo” en Bergson, y la captación instantánea (*insight*) de las formas significativas en la *Gestalt*, serían, por tanto, tres maneras distintas de referirse a un mismo hecho psicológico fundamental, necesario -de hecho- para la viabilidad de cualquier entidad viva en un mundo con niveles ontológicos irreductibles múltiples. En esta perspectiva, el racionalismo analítico – adecuado para ejercer control sobre la realidad mediante el procedimiento de manipular las “componentes elementales” y de ignorar, o poco menos, las entidades de orden superior– está llamado, por simple cuestión de lógica, a confrontarse críticamente tanto con la intuición como con la experiencia gestáltica.

De modo que mirando a su alrededor, von Bertalanffy pudo identificar sin demasiada dificultad un rasgo del mundo (e incluso del lenguaje, la música, etc.) que, por lo demás, bien se puede tener por evidente: su constitución jerárquicamente estructurada sobre la base del principio “entidades integran entidades”. Aunque, claro está, von Bertalanffy no ha sido el único filósofo que ha identificado este “rasgo unificador” del mundo, que él llama *su semblante organísmico*... Tiene, de hecho, sobrada razón al insistir en que su modo de percibir la realidad se enraíza en una sólida tradición científico-filosófica que se remonta a la Antigüedad. Pero es que, además -y como él mismo señala- se diría que numerosos pensadores contemporáneos han bebido en las fuentes de esa misma tradición, siendo así que han desarrollado en paralelo concepciones muy próximas a las suyas. Citaré ante todo a Whitehead, pero también a Xavier Zubiri, entre nosotros, con su concepción



de un dinamicismo cósmico esencial<sup>12</sup> que se despliega ontológicamente, una noción que retoma Laín en su ya citado ensayo *¿Qué es el hombre?* De hecho, en el vasto panorama teórico que abarca la actual corriente sistémica encuentran acomodo pensadores y escuelas extremadamente diversas, tanto que se tiene a veces dificultad en percibir que la corriente en cuestión es una sola. Se diría que se trata de gentes que hablan distintos idiomas y que poseen las sensibilidades más variadas, pero que se hallan, no obstante, conectadas por el hecho de otorgar carácter fundamental al axioma “el todo es más que la suma de las partes”, el famoso *dictum* aristotélico tantas veces invocado por von Bertalanffy.

Así pues, vinculados por la común apreciación de la dimensión paradigmática de esta frase, que se diría inmune al paso del tiempo, el *enfoque sistémico* lo comparten actualmente desde filósofos de clara orientación metafísica hasta formalizadores estrictos; desde pensadores de orientación más bien mística que ven en el *dictum* una posible vía de articulación que permitiría recuperar la perdida unidad del universo, hasta tecnólogos e informáticos a quienes no interesa nada más que diseñar sistemas operativos. Von Bertalanffy mismo, aunque generalmente intentaba mantener una posición ecléctica, lo cierto es que, visceralmente, simpatizaba más con el primero que con el segundo de ambos sectores, como lo revela el siguiente texto escrito hacia el final de su vida:

---

<sup>12</sup> La ruptura del sistemismo con el cartesianismo no tiene como única nota característica el rechazo del reduccionismo, sino también la opuesta concepción del papel de la *energía* (“movimiento” en Descartes). Esta, en la concepción mecanicista, simplemente se transmite de unos cuerpos materiales a otros, siendo estos últimos de naturaleza esencialmente inerte o an-energética. Y existe además la negación radical de la acción a distancia (ver Rioja & Ordóñez, *Teorías del Universo*, vol. II, Síntesis, Madrid, 1999, pp. 118, 128 y 130-131). Por el contrario, en la concepción sistémica las entidades de orden *n* surgen –junto con sus cualidades emergentes– a partir de las interrelaciones dinámicas complejas que se establecen entre entidades “elementales” de orden *n-1*, de modo que es posible sostener que *la dinámica interrelacionante misma es constitutiva de las entidades*. Y esto, bien entendido, se extiende hasta la constitución íntima de la materia, especialmente desde que se conoce la equivalencia masa-energía y desde que se sabe que los orbitales atómicos son intrínsecamente niveles de energía. Por otra parte, la organización holística de las entidades-sistemas implica siempre alguna forma de coordinación entre sus partes que no acaba de cuadrar con el esquema de una transmisión estrictamente mecánica del movimiento, y que se modeliza mejor contando con algo no muy diferente de la acción a distancia.

Si la realidad es una jerarquía de todos organizados, la imagen del hombre será distinta de la que tendría en un mundo de partículas físicas gobernado por sucesos aleatorios, donde éstos serían la última y única “verdad”. Más bien el mundo de los símbolos, valores, entidades sociales y culturales, es algo muy “real”; y su inclusión en un orden cósmico de jerarquías cierra la brecha entre “las dos culturas”, ciencias y humanidades, tecnología e historia, ciencias naturales y sociales, o cualquier otra formulación de la antítesis de C.P. Snow.

Estas preocupaciones humanistas diferencian a la teoría general de sistemas, tal como la entiende el autor, de aquélla que estudian los teóricos de sistemas con orientaciones mecanicistas, quienes, al hablar solamente en términos de matemáticas, feedbacks, tecnología y cosas por el estilo, dan pábulo al temor de que la teoría de sistemas sea el último paso hacia la mecanización y devaluación del hombre y hacia la sociedad tecnocrática. Aunque el autor comprende y destaca el papel de las matemáticas y de la ciencia, pura y aplicada, no cree que puedan ignorarse los aspectos humanistas sin condenar a la teoría general de sistemas a una visión restringida y fraccionaria.<sup>13</sup>

#### **6. 1. 5. Las estructuras disipativas como fundamento físico de la teoría de Sistemas**

Por qué es el mundo “una jerarquía de todos organizados”, y cómo ha llegado a serlo, son dos preguntas a las que ni von Bertalanffy ni los demás filósofos de los sistemas dan respuesta, aunque lleven a cabo tanteos explicativos no carentes de valor. Se diría que el descubridor de la *causa eficiente* de que el mundo tenga la estructura que tiene –y que la vida no hace más que poner de relieve al máximo– es el científico Ilya Prigogine. La pieza-clave de su propuesta la constituyen las *estructuras disipativas* que, si bien son –*sensu stricto*– físico-químicas, resultan generalizables, según proclama con insistencia el propio Prigogine, debido a la modelización que establecen, que es extensiva a amplios dominios de lo real.<sup>14</sup> Pues,

---

<sup>13</sup> von Bertalanffy, L., “Historia y situación de la teoría general de sistemas” en G.J. Klir (dir.), *Tendencias de la Teoría General de Sistemas*, Alianza, Madrid, 1978, p. 49.

<sup>14</sup> En lo que se refiere a la extensión de este concepto al campo de la biología, ver, p. ej.: Prigogine, I. & Stengers, I., *La nouvelle alliance*, pp. 231-237.

según Prigogine y otros científicos de su escuela, el universo entero, y no sólo la vida, evoluciona por causas que cabe, en último extremo, calificar de termodinámicas: entidades “de orden superior”, definidas holísticamente (y no a partir de la simple composición mecánica de sus elementos), han surgido cada vez que lo que él denomina una *fluctuación* se ha amplificado lo suficiente dentro del bullir caótico de unas “entidades de orden inferior” que son ciertamente los ladrillos básicos de las nuevas entidades emergentes, pero a las que éstas últimas no pueden reducirse sin más, puesto que lo que las define es una dinámica integradora que brilla por su ausencia en el agregado inicial de corpúsculos, sea éste la célebre “sopa orgánica” de Oparin, la no mucho más apetitosa “sopa de partículas” a la que se refieren los cosmólogos cuando tratan de los primeros instantes del universo, o cualquier otra.

Es bien conocida la propuesta básica de Prigogine: si tenemos un “sistema” (entendido como simple conjunto de elementos) que ocupa un cierto ámbito y que tiende, en ausencia de perturbaciones energéticas importantes, a una cierta forma de equilibrio estable<sup>15</sup>, al ser perturbado dicho sistema por un flujo creciente de *energía libre* (o, lo que es lo mismo, por un *gradiente energético*), el sistema se alejará, como es lógico, crecientemente del equilibrio; pero tal cosa no ocurrirá indefinidamente, ya que a partir de un determinado momento en que la perturbación llega a ser lo bastante grande, el sistema se pondrá a “explorar” (en sentido obviamente metafórico) varias posibilidades de reestructuración *global*. Se dice que el sistema *fluctúa* entre diversas alternativas que le permitirían, todas ellas, disipar mejor el flujo energético que le perturba. Finalmente, una sola de esas posibles alternativas reestructurantes se amplifica, extendiéndose a todo el sistema, que pasa –a partir de ahí– a comportarse como un todo coherente, como tal más ordenado (y con menor entropía) que el sistema inicial. Dice Prigogine que cuando, en el estado alejado del equilibrio en que el sistema se encuentra, se amplifica de forma explosiva una fluctuación particular, de entre las múltiples virtualmente posibles, se

---

<sup>15</sup> Estadísticamente definido, siguiendo el criterio de Boltzmann.

accede entonces a un *punto de bifurcación* en la *historia* del sistema, con el desenlace eventual del nacimiento de un “todo” holísticamente integrado, que tiene mucha más capacidad disipativa que el conjunto desorganizado (o crecientemente “caotizado”) de partida.

Lejos del equilibrio, la homogeneidad del tiempo queda doblemente destruida: por la [nueva] estructura espacio-temporal activa que hace que el sistema se comporte como una totalidad organizada caracterizada por unas dimensiones y un ritmo intrínsecos, y también por la *historia* que la aparición de tales estructuras implica.<sup>16</sup>

Prigogine rompe la tradicional ambigüedad del término “sistema”, que muchos autores siguen empleando tanto para referirse a conjuntos escasamente o nada organizados como a totalidades con funcionamiento y semblante holísticos, y apuesta decididamente por una concepción que no se diferencia apenas de la de von Bertalanffy:

...En rigor, no se debería hablar de un sistema como “escenario de una actividad disipativa”, pues es la actividad disipativa lejos del equilibrio, y las correlaciones de largo alcance que suscita, lo que convierte una población de moléculas con interacciones ocasionales, en un verdadero sistema en el seno del cual las moléculas mantienen interrelaciones. El sistema, en tanto que portador de sentido, en tanto que su estudio pone en juego instrumentos formales bien definidos, no es algo que preexista a su propio régimen de funcionamiento, puesto que es la intensidad de su actividad disipativa lo que le confiere ese mismo sentido.<sup>17</sup>

A pesar de la claridad del anterior párrafo, se echa en falta –y más en un autor que no duda en manifestarse favorable a buen número de pensadores, y aun de tradiciones filosóficas, ajenos al cartesianismo– una referencia inequívoca a la teoría general de Sistemas; y ello no sólo porque sus propias contribuciones tienden, en todo caso, a fundamentarla, sino también porque la nítida distinción que dicha teoría establece entre “agregados de elementos” (falsos sistemas) y “sistemas verdaderos”

---

<sup>16</sup> Prigogine & Stengers, *La nouvelle alliance*, p. 228.

<sup>17</sup> *ibid.*, Apéndice II, p. 427.

(todos organizados que son más que la suma de sus componentes) contribuye, de hecho, a aclarar la terminología prigoginiana.

Al reconocer que todo en el universo evoluciona siguiendo el esquema *desestabilización – amplificación de una fluctuación – reestructuración holística*, el modelo prigoginiano desplaza en cierto modo al fenómeno de la vida de su eminente posición singular. Pero, a diferencia de los modelos mecanicistas, no lo reduce. *Más bien tiende a proporcionarle un nuevo semblante vital al universo entero*, con sus múltiples estructuras (“verdaderos sistemas” según von Bertalanffy) esencialmente dinámicas, desde el átomo hasta la galaxia, pasando por las formaciones específicamente humanas, incluidas las culturales. Y es que, a mi entender, las ideas de Prigogine constituyen una forma científicamente más fundamentada -y por tanto, más madura- tanto de la teoría de Sistemas como de otras filosofías dinamicistas y organicistas próximas a ella, como la de Whitehead, de quien el propio Prigogine se confiesa admirador.<sup>18</sup>

Quedan flotando, no obstante, muchas preguntas. Una que encuentro especialmente intrigante es la siguiente: ¿por qué el fenómeno global de la vida, la biosfera terrestre, entendido (tal como sugiere, de hecho, Prigogine mismo) como una estructura disipativa, promovida –añadiríamos– por el flujo de energía solar, tiene una configuración atomista –basada en individuos separados, así como en múltiples especies y en “genes egoístas”– en vez de unitaria o globalizada, como parece demandar más bien el modelo prigoginiano<sup>19</sup>? Una de las posibles respuestas es que acaso una vida estructurada sobre la base de individuos y de especies en competencia sea más eficiente de cara a cumplir funciones disipativas, debido a que los organismos que mejor las llevan a cabo son los que acaban siendo seleccionados. Y esto porque los organismos que más contribuyen a mejorar la calidad del medio (se entiende que del local a corto plazo, y del global a largo

---

<sup>18</sup> Ver, p. ej., Prigogine & Stengers, *La nouvelle alliance*, pp. 156-160.

<sup>19</sup> Y como, por cierto, Bergson sugiere que puede darse en algún otro lugar del universo (*L'évolution créatrice*, 258, en *Henri Bergson, Œuvres*, PUF, París, 1963, p. 713).

plazo), tienen más posibilidades de sobrevivir. Esta idea contradice el postulado neodarwinista de que la evolución carece de toda orientación; y sin embargo es la solución que proponen Schneider y Kay, desde su interpretación del fenómeno de la vida como una macroestructura disipativa planetaria, en base, en parte, a la constatación empírica de la impresionante expansión de un grupo biológico como el reino vegetal, con máxima capacidad disipativa del gradiente energético solar, que ha llegado a ser el componente-clave de los grandes ecosistemas termo-reguladores continentales.<sup>20</sup>

Pero esta respuesta esconde, en cierto modo, otra. Porque los ecosistemas mismos, considerados conjuntamente, pasan a ser el escalón holístico que se echaba en falta. Se llega, en el límite, a la teoría de Gaia, de acuerdo a la cual los árboles atomistas de la “lucha por la supervivencia” pueden impedir ver el bosque del comportamiento global de la vida contemplada a gran escala así espacial (planetaria) como temporal. Una concepción en la que se insistió mucho en la 2<sup>nd</sup> *Chapman Conference on the Gaia hypothesis*<sup>21</sup>, es que la biosfera, estrechamente acoplada al planeta en el que ha evolucionado, constituye una estructura disipativa global de éste, *ajustada por la selección natural*, la cual pasa así a ser vista como un mecanismo cibernético esencial de Gaia.

#### **6. 1. 6. Teoría de Sistemas y complejidad**

No podría dar por finalizado este apartado sin referirme a los estrechos vínculos que ligan la teoría de Sistemas (se entiende que en sus versiones más actuales, ya abiertamente prigoginianas) con las concepciones y el método de la complejidad, cuyo desarrollo filosófico y epistemológico se debe principalmente a Edgar Morin. Es, en efecto, a partir de la *circularidad productiva*, del bucle, como nacen los

---

<sup>20</sup> Ver Schneider, D. & Kay, J.J., *op. cit.*, en *La biología del futuro*, pp. 221-236.

<sup>21</sup> Valencia, 19-23 junio 2000.

sistemas verdaderos –o “entidades”– en el seno de la Naturaleza (según la interpretación sistémica que hace von Bertalanffy de los trabajos iniciales de Prigogine), y es así también como pueden llegar a ser comprendidos –situándolos, al mismo tiempo, necesariamente en su propio contexto “ecológico”– por, y desde, una epistemología de la complejidad (Edgar Morin: ver 1. 5). El autor francés, que reconoce –en el tomo 1 de *La méthode*– haber partido de la visión sistémica bartalanffiana<sup>22</sup>, prefiere de hecho hablar de *organización* integradora y contextualizada, y recurre a neologismos compuestos –algunos, hay que reconocerlo, sumamente farragosos–, como *auto-eco-re-organización* (“autoorganización que se establece sobre la base de la apertura y de la actividad del sistema en los contextos con los cuales coevoluciona, a los cuales transforma y que a su vez le transforman”), para dar cuenta de la dinámica fundamental que es, literalmente, generadora de la Realidad a todos los niveles.<sup>23</sup> Con ello, Edgar Morin difumina quizás las fronteras de los sistemas, pero no las suprime. De hecho, insiste mucho en que las entidades eco-dinámicas poseen necesariamente *cierres formales* individualizadores, y no solamente *aperturas vivificantes* al medio<sup>24</sup>, de modo que sigue habiendo sistemas organizados distinguibles, por mucho que se ponga el acento en su ineludible integración ecológico-energética en un medio que, conteniéndolos y sosteniéndolos, abre la posibilidad de los sistemas de orden superior.

Es clara, por otra parte, la convergencia entre las concepciones ontológicas de Edgar Morin y las de Prigogine / Whitehead (dos pensadores a los que no puedo sino asociar estrechamente a nivel filosófico, a la vista de las extensas referencias superlativamente favorables que del filósofo norteamericano suministra el premio

---

<sup>22</sup> Morin, E., *La méthode*, t. 1, 1<sup>o</sup> par., 2 (“L’organisation. De l’objet au système”).

<sup>23</sup> *ibid.*, especialm. t. 1, Conclusion (“De la complexité de la Nature à la nature de la complexité”) y t. 2.

<sup>24</sup> *ibid.*, t. 1, 2<sup>o</sup> par., II, 2 (“L’ouverture”) y III, A (“La boucle lie ouverture à fermeture”).

Nobel de Bruselas). Creo que la siguiente cita de *La nouvelle alliance* es lo suficientemente expresiva al respecto:

Más claramente quizás que cualquier otro, Whitehead había entendido que no sería posible concebir el devenir creativo de la naturaleza –es decir, el hecho último e irreductible que toda existencia física presupone– si los elementos que componen esa misma naturaleza se definieran como entidades individuales permanentes, que mantienen su identidad a través de los cambios y las interacciones. Pero, por otra parte, considerar la permanencia como ilusoria, negar el ser en nombre del devenir, las entidades en nombre de un flujo continuo y cambiante, era caer de nuevo en la trampa tendida a todo filósofo: “recrearse en la brillante hazaña de pretender explicar algo negando lo que se trataba de explicar”. La tarea de la filosofía iba a consistir por tanto, para Whitehead, en reconciliar permanencia y devenir, en pensar las cosas como *procesos*, en pensar el devenir como constitutivo de entidades identificables, de entidades individuales que nacen y mueren.(...) En el nacimiento de cada entidad nueva, “*the many becomes one and are increased by one*” [Whitehead, A.N., *Process and Reality*, The Free Press, MacMillan, Nueva York, 1969, p. 26].<sup>25</sup>

## **6.2. El sistema Tierra y sus distintas acepciones**

La expresión “sistema Tierra” (*Earth System*) conoce actualmente un auge innegable. Tal cosa guarda relación, seguramente, con la significativa implantación de los enfoques sistémico y “complejo” en el colectivo de los especialistas en ciencias de la Tierra y el Medioambiente, y más aun en el de los enseñantes de dichas disciplinas. No hay más que hojear, sin ir más lejos, una publicación como

---

<sup>25</sup> Prigogine I. & Stengers I., *La nouvelle alliance*, pp. 159-160. (Referencia de Whitehead completada por el autor de la tesis).



*Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, que se publica en España desde 1992, para convencerse de que la anterior afirmación es cierta.

El exitoso “desembarco” de las concepciones sistémico-complejas en esa comunidad específica no puede atribuirse ni a la casualidad ni, mucho menos, a una superficial moda. En mi opinión, responde más bien a dos causas de calado considerable, una circunstancial y otra esencial. La primera es la crisis climática, el –a estas alturas– suficientemente contrastado *calentamiento global*, que implica la existencia de una intrincada red de interrelaciones entre la atmósfera, la hidrosfera y la civilización humana, la cual exige una modelización en términos de sistemas y de complejidad para poder aproximarse a su comprensión.<sup>26</sup> La segunda podría calificarse de onto-fenomenológica, y tiene que ver con la percepción creciente del carácter integrado, “definidor de entidad”, de las dinámicas naturales terrestres, percepción que en realidad se inició con la nueva visión totalizada del “objeto Tierra” que aportó el paradigma de la tectónica de placas.

Sin embargo, estos dos motivos discernibles de la ganancia de fuerza que experimentan hoy las aproximaciones sistémicas al planeta que habitamos, acaban conduciendo a dos definiciones distintas del *sistema Tierra*, según que el énfasis se ponga en el primero o en el segundo de ellos. Si nos centramos en el hecho de que la humanidad y la civilización tecno-industrial son, en el presente, un *factor geológico y geodinámico externo* a tener en cuenta, y que ello no sólo atañe a la inducción de unos determinados efectos climáticos sino también la generación de ciertos niveles o subsistemas que cabe asimilar a nuevas esferas telúricas emergentes, se desplegará ante nosotros una imagen del sistema Tierra que contará con una componente antrópica esencial. Esta es la visión que privilegian, por ejemplo, los autores de los celeberrimos informes sobre desarrollo sostenible encargados por el Club de Roma, y realizados contando con la colaboración decisiva del MIT (*Massachusetts Institute*

---

<sup>26</sup> Ver, destacadamente: Meadows, D.H. *et al.* (1972), *Los límites del crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, México, 1972, y Meadows, D.H. *et al.* (1991), *Más allá de los límites del crecimiento*, El País / Aguilar, Madrid, 1992.

of Technology) para la parte científica y técnica<sup>27</sup>; o también el *Postdam Intitute for Climate Impact Research* dirigido por H.J. Schellnhuber, que junto a Gaia<sup>28</sup> coloca en pie de igualdad a Prometeo. En cambio si, extendiendo nuestra perspectiva temporal a la escala inmensa de las eras y los eones geológicos, relativizamos el impacto humano y la presencia misma del hombre sobre el tercer planeta del sistema solar, nos sentiremos más inclinados a considerar el sistema Tierra como eminentemente natural, y a estudiarlo como tal en sus diferentes dimensiones y aspectos. Entre uno y otro enfoque se sitúan quienes asimilan “sistema Tierra” a *sistema climático* o meteorológico planetario<sup>29</sup>, aunque esta definición super-restrictiva parece reflejar, más que nada, tanto la inquietante actualidad (que, lamentablemente, puede durar siglos) como la particular perspectiva de un grupo de investigadores altamente especializado.

Aunque la apuesta de fondo de la presente tesis va en el sentido de reconocer la preeminencia ontológica de la Naturaleza (aunque sin negar, por ello, el papel del *anthropos* en tanto que producto y parte “muy especial” de esa misma Naturaleza), creo conveniente ampliar sucintamente la información sobre el enfoque, naturalista y antropológico a la vez, del sistema Tierra, que propone Schellnhuber. Este autor plantea una “formalización” del sistema en los siguientes términos:

$$E = (N, H)$$

siendo N el complejísimo entramado de la “ecosfera” (para todos los efectos, idéntica a lo que entendemos aquí por “Gaia”<sup>30</sup>), y H el “factor humanidad” que es a su vez descomponible:  $H = (A, S)$ , de modo que A representa la *antroposfera*,

---

<sup>27</sup> Y de los que Donella H. Meadows es la primera firmante. Ver nota anterior.

<sup>28</sup> Y a Shiva (el aspecto destructor de la Divinidad en la *Trimurti* hindú), siguiendo en esto a Rampino (1993).

<sup>29</sup> Ver, p. ej., la monografía “Les dérives du climat”, *Dossiers & Documents Le Monde*, 303, 2001, París.

<sup>30</sup> Además en la concepción de Schellnhuber, que sigue en esto a Rampino, la maternal Gaia mantiene permanentemente un incierto pulso con el principio tanático (*Shiva*).

entendida como la “película humana” que recubre al planeta, junto con las transformaciones –y alteraciones– que dicha película provoca (“Prometeo”), mientras que S significa “la emergencia de un *sujeto global*, que se manifiesta, por ejemplo, a través de la adopción de protocolos internacionales para la protección del clima.”<sup>31</sup>

Esta concepción del sistema Tierra parece estar a mitad de camino de las visiones pesimistas y de las optimistas que tienen en común el considerar que el proceso de emergencia antrópica no puede ser abstraído, en modo alguno, de la evolución del sistema. En un extremo se hallan los que ven la humanidad como una especie parasitaria, incluso como un “cáncer”, de una Gaia ideal que se encontraría mucho mejor sin sus molestos vástagos humanos (y que estaría madurando actualmente, suelen añadir, las estrategias más adecuadas para desembarazarse de ellos). En el otro están quienes, de una forma u otra, participan de la tradición –de raigambre claramente judeocristiana– de las *utopías finales* (con la “flecha del tiempo” apuntando a una meta o destino bien definido) en las que el Hombre -con mayúscula- ostenta el máximo, o el exclusivo, protagonismo. Esta tradición, en cuyo marco yo no dudaría en situar hitos tan diversos como la *Nueva Jerusalén* del Apocalipsis, el *punto Omega* de Teilhard de Chardin, el advenimiento de la sociedad sin clases en el marxismo, y el fin (neoliberal) de la Historia en que dice creer el americano Francis Fukuyama, tiene también sus epígonos geosistémicos, como Joël de Rosnay, con su *hombre simbiótico* llamado a integrar próximamente a Gaia y a la tecnosfera emergente.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Schellnhuber, H.J., “Earth System analysis...”, C20 - C21.

<sup>32</sup> De Rosnay, J., *L’homme symbiotique*, Le Seuil, París, 1995.

### 6. 3. *Dos estructuras disipativas globales*

Desde luego no seré yo quien minusvalore el impacto antrópico sobre la ecología, a nivel global. Ni creo que quepa minimizar el dato de la emergencia, en el tercer planeta del sistema solar, de un nuevo *nivel de realidad*, el de la vida superior autoconsciente, dotado además de una dimensión colectiva añadida. No obstante, el planteamiento de la presente tesis deja de lado estos importantes temas, y ello por varias razones. Está, en primer lugar, la falta de perspectiva de que adolece cualquier aproximación al sistema Tierra que pretenda contar de manera destacada con el factor humano, un factor que no sólo somos nosotros mismos, sino que está presente, además, desde hace tan sólo un millón de años (3000 años la civilización, y 150 la sociedad industrial) frente a los 4500 millones de años que tiene nuestro planeta. Está también la evidente inclinación autodeficadora del *homo sapiens* (especialmente en su última versión, de “*homo technologicus*”), una inclinación tan pronunciada que algunos sospechan que el Dios personal y antropomorfo bien puede ser una proyección suya, creada “a su imagen y semejanza” y no al revés (lo Sagrado es otra cosa, sea dicho de paso<sup>33</sup>); y yo no deseo entrar en ese juego. Y está, por último, pesando decisivamente para mí en el otro plato de la balanza, la necesidad –que percibo ineludible– de restaurar una filosofía de la Naturaleza<sup>34</sup>, esto es, una aproximación “desde el asombro” –desde ese asombro que no tiene nada de ingenuo, sino que es más bien el corazón mismo de la filosofía– a la *generatividad del mundo*, que llega hasta producir la existencia misma del sujeto-observador, sin que tal cosa le dé a éste, por lo demás, privilegio alguno, desde el momento que forma parte, simplemente, del proceso general. La emergencia de *niveles sistémicos*,

---

<sup>33</sup> Acerca de este tema ver, p. ej., Rudolf Otto (1923), *Le Sacré*, Payot, París, 2001.

<sup>34</sup> Encuentro especialmente iluminadora a este respecto la siguiente opinión de Whitehead: “En la medida en que los filósofos fracasan, los científicos no saben de lo que están hablando cuando aplican sus métodos, y solamente en la medida en que los filósofos llegan finalmente a algo, acceden los científicos a una auténtica comprensión de la ciencia.” (*Function of Reason*, 1929).

de auténticos niveles ontológicos irreductibles cualitativamente los unos a los otros, parece ser la vía principal de realización de esa creatividad esencial de la *physis*, creatividad que viene, se diría, a apoyar la propuesta whiteheadiana y romántica de identificar naturaleza y vida.<sup>35</sup> Ahora bien, en la presente tesis se trata de explorar la hipótesis de que tal emergencia tiene lugar *también* por el camino de la organización global de un planeta muy concreto: la Tierra.

A lo largo de los dos capítulos precedentes se ha puesto de relieve que tanto la estructura dinámica de la litosfera (con repercusiones, o mejor, continuaciones en profundidad, que cada día se conocen un poco más) como la biosfera, cuya plena integración en (y con) el sustrato planetario a partir del cual se ha originado, defiende la hipótesis -o teoría- de Gaia, admiten ser interpretadas como sendas estructuras disipativas de las que se ha dotado nuestro planeta en respuesta al alejamiento de las condiciones de equilibrio termodinámico que en él han provocado dos flujos de energía distintos, a saber, el *flujo geotérmico*, de origen interno (procedente de las geosferas profundas, principalmente del núcleo), y el *flujo solar*, que incide obviamente desde el exterior.

Aunque conviene ahondar todavía más en el concepto de estructura disipativa, está claro ya que se trata de una “respuesta autoorganizativa”, basada en bucles de retroalimentación, al desplazamiento lejos del equilibrio que experimenta un sistema físico a consecuencia de la incidencia de un flujo superabundante de energía libre o, lo que es lo mismo, de energía “de baja entropía” (o no degradada), capaz de promover transformaciones. En el caso particular de la Tierra no hay uno solo sino dos de tales flujos, de lo que se desprende el carácter necesariamente doble de la autoorganización terrestre: *tectónica de placas* (o “tectónica global”), por un lado, y *biosfera-Gaia*, por otro.

La recuperación de un nombre mitológico para designar una hipótesis científica ha sido, durante años, piedra de escándalo. Sin embargo, el paralelismo entre la

---

<sup>35</sup> Siempre, claro está, que esta última noción, la de vida, no se dé prematura y precipitadamente por cerrada.

consolidación –paulatina pero cada vez más clara– de la concepción gaiana, y la confirmación del nombre en cuestión debería hacer reflexionar. ¿No estaremos ante un síntoma de la necesidad que tiene la cultura occidental, científica incluida, de contar con formulaciones que no sean meramente “formales”, con formulaciones *portadoras de sentido*? Pero si se conserva finalmente el nombre de Gaia para la macroestructura disipativa terrestre que depende directamente del flujo energético solar y que cuenta, como factor esencial, con el fenómeno de la vida, entonces –y por simple coherencia terminológica– se debería postular una segunda denominación mitológica para la otra estructura disipativa global surgida en nuestro planeta, la tectónica de placas. Que, en respuesta a la presencia de un flujo de calor procedente del interior del globo que tiende a alejar al sistema del equilibrio, reorganiza en un cierto orden dinámico las distintas capas telúricas, desde la litosfera hasta el límite del núcleo, y quizás incluso el núcleo mismo. Es un hecho que la oportunidad de una denominación tal ha sido percibida por varios especialistas en el *sistema Tierra*<sup>36</sup>, y que, por ejemplo, Tyler Volk llama Vulcano al ámbito geodinámico subyacente a Gaia, al *geocosmos* subterráneo de la “tectónica de placas”, con el que Gaia mantiene conexiones e intercambios.<sup>37</sup> Lo inapropiado de este nombre mitológico es, no obstante, fácil de apreciar, pues no todo vale tampoco partiendo de la mitología, y menos aun si se la contempla –al modo de Schelling– como un espejo del despliegue de la conciencia. Pues observemos que Vulcano es el nombre de una deidad latina que suele hacerse corresponder al dios griego Hefaios (o Hefestos). Ahora bien, este último es un hijo de Zeus y Hera que mora en los volcanes y utiliza el fuego de éstos en su célebre fragua, sin disponer de poder alguno sobre el interior profundo de la Tierra. Sin embargo, hay, en el cosmos mitológico clásico, otra entidad –que es, al mismo tiempo, un ámbito del mundo, como la misma Gaia– que sí cumple todos los requisitos para prestar su

---

<sup>36</sup> Como hemos visto, algunos incluso postulan *varios* nombres mitológicos para designar los diferentes componentes de lo que perciben como un sistema complejo. Así, Schellnhuber en su artículo citado.

<sup>37</sup> Tyler Volk, *Gaia toma cuerpo*, p. 94.

nombre a la dinámica interna terrestre; se trata de Tártaro (o “el Tártaro”) al que Hesíodo presenta como naciendo del Caos al mismo tiempo que Gaia y Eros<sup>38</sup>, para pasar a definirlo más adelante como “prodigioso abismo” en el que “se halla el palacio de la Noche” y “moran Hades y Perséfone”<sup>39</sup> (señores olímpicos<sup>40</sup> del reino de los muertos), aunque conservando, de todos modos, rasgos de entidad mítica individualizada, capaz incluso de dejar encinta, una vez, a su hermana Gaia.<sup>41</sup>

Gaia y Tártaro son, pues, presentadas como *deidades primordiales*, al proceder ambas directamente del Caos -“abismo insondable”- originario. Son, pues, entidades hermanas, representando la primera de ellas “la Tierra madre”, y la segunda “las entrañas oscuras (¡aunque sorprendentemente autónomas!) de la Tierra”. Creo que esto basta para justificar la propuesta de denominar Tártaro a la estructura disipativa terrestre que normalmente se conoce como “tectónica de placas”, nombre este último, por lo demás, claramente limitativo, puesto que sólo hace referencia a una de las manifestaciones –la que más atañe a la superficie terrestre– del proceso autoestructurante global que ha surgido en respuesta al flujo geotérmico.

---

<sup>38</sup> Hesíodo, *Teogonía*, 118-119, edic. cit., p. 19.

<sup>39</sup> *ibid.*, 736-769, pp. 66-68.

<sup>40</sup> Ya que o bien pertenecen a la “generación olímpica”, la de Zeus, o bien a una posterior.

<sup>41</sup> Hesíodo, *Teogonía*, 820-823, edic. cit., p. 73.

#### 6. 4. Orden a partir del Caos. La estructura del Tártaro

Jean-Pierre Vernant, especialista francés contemporáneo en mitología griega, propone una interesante visión del mito hesiódico del Tártaro: “¿No habría -dice- que representarse el Caos como un abismo sin fondo, un espacio de errabundez infinita, de caída ininterrumpida, similar al inmenso abismo, al *mega chasma* del versículo 740 [*de la Teogonía*] en el que se describe el Tártaro?” Y continúa: “De hecho, para poder entender la existencia del Caos, hay que situarlo en sus relaciones de oposición y complementariedad con Gaia, las cuales se expresan en la fórmula: *protista... autar epeita*, primero [fue el Caos]..., pero enseguida [fue la Tierra].(...) Estable y segura en su vasta superficie, y extendiéndose además verticalmente en ambos sentidos, Gaia no es tan sólo lo contrario, la réplica positiva del sombrío Caos, sino que es también su aspecto complementario. Por el lado del cielo, se corona con la blancura de las nieves, mientras que hacia abajo se sumerge, enraizándose, en las tinieblas del Tártaro que, presente en los cimientos de la Tierra, representa la misma inmensa apertura [*béance*] originaria, el mismo abismo de tremendo vértigo, a partir del cual –y contra el cual– se constituyó Gaia al comienzo de los tiempos.”<sup>42</sup>

El Tártaro es, pues, una entidad / dominio que, en las entrañas mismas de Gea, ostenta la primera representación de lo que Vernant llama la *estirpe mítica del Caos*.<sup>43</sup> La definición, que Hesíodo da de él, como “inmenso abismo” en el que “un yunque cayendo, tardaría nueve días con sus noches en alcanzar el fondo” (*Teogonía*, 720-725), nos trae a la memoria el lento desplome de las losas subducidas de corteza oceánica hacia la interfases manto – núcleo externo (ver capítulo 4). En todo caso, encuentro que la presencia residual del Caos en el Tártaro –“hermano oscuro” de Gaia, que mora dentro de ella– constituye una iluminadora

---

<sup>42</sup> Vernant, J.-P., “Genèse du monde, naissance des dieux, royauté céleste”, ensayo introductorio a: *Hésiode. Théogonie*, Rivages, París, 1993, pp. 10-11.

<sup>43</sup> *ibid.*, p. 11.



metáfora de las raíces del orden complejo que ha emergido en nuestro planeta, proporcionándole su actual fisonomía. Un orden doble: por un lado, equilibrio dinámico global controlado por la biosfera (la “Gaia de Lovelock”) y surgido del caos prebiológico inicial; por otro, estructuración *termo-dinámica* notablemente regular del “abismo telúrico” que subyace -literalmente- a la Gaia lovelockiana y en el que ésta se enraíza.

Ocupémonos primeramente de esta última estructuración. El sustrato de Gaia, el ámbito terrestre que, por mor de coherencia, llamaré en adelante Tártaro, mantiene plausiblemente un régimen dinámico de tectónica de placas desde una época muy remota de la historia de la Tierra, aunque no desde su misma consolidación. Los modelos que se han propuesto para explicar la emergencia de semejante dinámica se basan en indicios –petrológicos sobre todo<sup>44</sup>– que apuntan a deslindar lo que era posible y lo que no lo era en los primeros tiempos del globo, poco después de la acreción inicial. Tales modelos son, en todo caso, incontrastables (sea dicho esto con todo el respeto por los investigadores que los elaboran), sobre todo teniendo en cuenta que el factor tiempo no puede ser manipulado en el laboratorio<sup>45</sup>; y es por ello que me ocuparé más de su fisonomía general y del principio que los sustenta, que de sus detalles.

Tratemos de imaginar el “escenario” que presidió el nacimiento de nuestro planeta: el panorama que nos presentan incontables asteroides, de todas las composiciones y tamaños, juntándose desordenadamente primero, y cayendo después, en una “simiente planetaria” todavía relativamente pequeña (pongamos, de un diámetro equivalente a la mitad del terrestre actual) que la contracción gravitacional, unida a la energía de los impactos mismos, mantenía en estado incandescente y fundido, constituye –justo es reconocerlo– una imagen bastante aceptable del Caos primordial, y dada la prolongación simbólica de éste en el

---

<sup>44</sup> Ver Anguita, F. & Moreno, F., *op. cit.*, pp. 223-224.

<sup>45</sup> Aunque podrían llegar a ser contrastados si algún día la humanidad tuviese acceso al conocimiento detallado de otros planetas análogos a la Tierra que se encuentren en distintas fases evolutivas.

Tártaro, puesta de relieve unas líneas más arriba, no es de extrañar que los especialistas en los primeros tiempos de la historia de la Tierra hayan dado el nombre de eón Hadiano a esa época inicial, ígnea y prebiológica, teniendo en cuenta que Hades, dios del mundo de los muertos, era el morador más noble del Tártaro.

¿Qué régimen de evacuación térmica debía existir en el Hadiano? Muy probablemente uno en el que predominaban tanto la conducción directa del intenso calor por las capas externas (con el corolario de su irradiación inmediata al espacio exterior: incandescencia terrestre primigenia) como las corrientes de convección rápidas y desordenadas, acompañando a todo ello la desgasificación intensa, por vía volcánica, de una materia de origen, no lo olvidemos, planetesimal, cuyos abundantes constituyentes volátiles pasaban a formar la atmósfera y los océanos terrestres primitivos.

Más tarde, a medida que el bombardeo meteorítico decrecía y que la superficie de la Tierra se enfriaba, la pérdida de calor por conducción / irradiación, y la asociada directamente a fenómenos de desgasificación, se hizo mucho menor. La refrigeración del todavía joven globo se volvió, pues, más difícil, y el sistema, hasta entonces marcadamente caótico, empezó a explorar “alternativas de orden” que le permitieran llevar a cabo una disipación más eficaz del flujo de energía. Fue así como aparecieron las primeras corrientes de convección *organizadas* (que no todavía, verosímilmente, la tectónica de placas), hacia –es de suponer– el final del Hadiano. Interesa aquí recordar lo que dice el propio Prigogine sobre el fenómeno de la convección (transporte disipativo del calor mediante corrientes de materia, a menudo estructuradas): “No vemos cómo aplicar el principio [*estadístico*] de Boltzmann a tales situaciones. El que un sistema se uniformice a lo largo del tiempo, es algo que podemos comprender en términos de complejiones (al alcanzar el estado uniforme, cuando las “diferencias” creadas por las condiciones iniciales se hayan olvidado, el número de complejiones será el máximo posible).<sup>46</sup>

---

<sup>46</sup> El **número de complejiones** de N partículas (o componentes elementales cualesquiera) colocadas en cierta disposición o estado, está en relación directa con la probabilidad de ese estado, y por tanto también con la entropía correspondiente. Así, si hay 6 bolitas de

Pero el que se produzca espontáneamente un movimiento de convección es desde luego imposible de entender partiendo de ese mismo punto de vista, pues una corriente de convección exige una gran coherencia, la cooperación de un número inmenso de moléculas; es, pues, un estado privilegiado al que sólo puede corresponder un número de complejiones relativamente pequeño. Y si la convección es ya un «milagro», cuánto más ha de serlo la vida.”<sup>47</sup>

La regulación, sobre la base de un fenómeno generalizado de convección subcrustal organizada según pautas regulares, de la disipación del calor residual (y del que generaba la desintegración de elementos radiactivos, junto a otros fenómenos secundarios), tuvo pues que implicar ya un decrecimiento neto de la entropía global del sistema Tierra, entendido en sentido restringido como el conjunto constituido por las geosferas concéntricas, de la litosfera al núcleo. Dicho sistema, que llamamos aquí Tártaro, desplegó, por tanto, desde muy pronto y de un modo que resultó, a fin de cuentas, constitutivo, una dinámica disipativa autoestructurante contando con el factor tiempo a una escala de cientos de millones de años. Además el sistema en cuestión se modificó –podríamos decir que “evolucionó”– de una forma radical o “catastrófica” cada vez que alcanzó ciertos umbrales críticos (*puntos de bifurcación*) condicionados por variaciones del gradiente geotérmico, variaciones ligadas a su vez tanto a modificaciones de la tasa de generación de energía interna como –sobre todo– a las dificultades, así mismo

---

colores distintos en una caja con dos compartimentos no estancos, el nº de complejiones de la disposición “todas las bolitas en el mismo compartimento” es 1 y corresponde a la posibilidad menos probable y a la mínima entropía. El nº de complejiones de la disposición “una bolita en un compartimento y cinco en el otro” es 6, y tenemos ya una probabilidad de encontrar ese estado algo mayor, y una entropía que va asimismo en aumento. Y en el caso de que se vayan tres bolitas (sin importar cuáles) a un compartimento y tres al otro, el nº de complejiones, 20, es máximo, e igualmente lo es la entropía de semejante disposición máximamente homogénea. Si N es el nº total de elementos a distribuir, y  $N_1$ ,  $N_2$  el nº de elementos presentes en uno y otro compartimento, el número de complejiones de esa distribución particular viene dado por la fórmula:

$$P = N! / N_1! N_2! \quad \text{(Nota del autor de la tesis)}$$

<sup>47</sup> Prigogine, I. & Stengers, I., *op. cit.*, pp. 198-199.

cambiantes, que encontraba su disipación a través de unas capas terrestres externas de baja conductividad térmica. Conviene, antes de continuar, decir algo más acerca del nacimiento de las estructuras disipativas, aclarando, de paso, un poco más su naturaleza. Explica Prigogine que en condiciones cercanas al equilibrio termodinámico (homogeneización boltzmanniana), un sistema, definido como un conjunto de masas puntuales sometido a un gradiente de energía, cuenta siempre con una *función de potencial*, cumpliéndose que el acceso (o el retorno) del sistema al estado de equilibrio supone la realización de un mínimo de dicha función.<sup>48</sup> Dicho mínimo funcional, de hecho *un punto* en la representación gráfica de la función, se identifica con un *atractor puntual* en el espacio de fases correspondiente. Ahora bien, al alejarse el sistema considerablemente del equilibrio, la función de potencial deja, como tal, de estar definida, por lo que se hace imposible que adquiera su valor mínimo o cualquier otro. Como escribe Prigogine:

La estabilidad deja de ser entonces un atributo característico de un estado, pasando a ser el resultado de todo examen particular que concluya que *todas* las fluctuaciones posibles acaban regresando. Sin embargo, se dirá que el sistema es inestable si dicho análisis pone de manifiesto que algunas fluctuaciones, en lugar de regresar, pueden amplificarse, invadir todo el sistema y hacerle evolucionar hacia un nuevo régimen de funcionamiento cualitativamente diferente de los estados estacionarios definidos por el mínimo de producción de entropía.<sup>49</sup>

La *forma* de este nuevo régimen admite, en todo caso, una representación en términos de aproximación del sistema entero a un *atractor*<sup>50</sup> completamente distinto del “puntual” que definía el estado anterior, de equilibrio. Se tratará ahora de un *atractor cíclico*, o incluso de uno *extraño*, correspondiente a un nuevo tipo de equilibrio totalmente diferente del estático: a un *equilibrio dinámico*, en cuyo marco

---

<sup>48</sup> Prigogine & Stengers, *op. cit.*, p. 210.

<sup>49</sup> *ibid.*, p. 213.

<sup>50</sup> En el sentido definido por las nuevas matemáticas de la complejidad (ver Anexo 2 al capítulo 1).

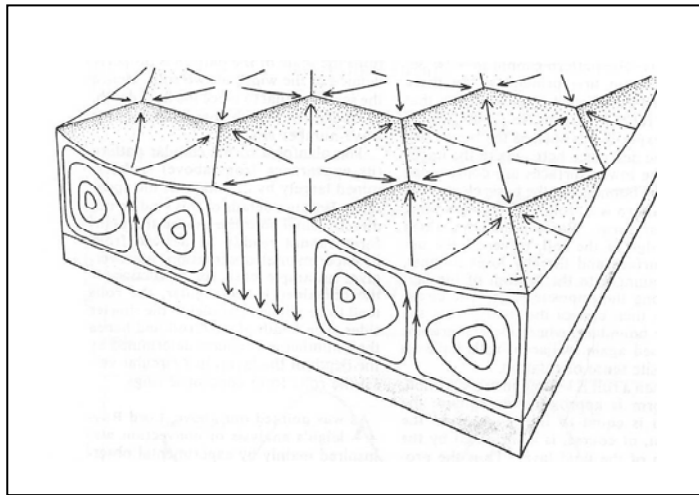


Figura 25. Células de Bénard

el sistema, o bien oscila, o bien pasa por fases y cambios de naturaleza irreductiblemente compleja, comportándose al mismo tiempo “como un todo”.

Precisamente uno de los casos más sencillos de una evolución de este tipo es el que representa la aparición de un sistema convectivo organizado, en el seno de una masa fluida en la que se halla implantado, en sentido vertical, un gradiente de temperatura, y tal que su “techo” corresponde a la superficie libre superior, más fría que el resto. *Notemos que este esquema es muy parecido al que encontramos realmente en la Tierra, de las capas profundas a la superficie.* Se trata, como ya ha quedado dicho, de la llamada “inestabilidad de Bénard”, que implica la formación de células de convección, con zonas de surgencia de material caliente (hacia el centro de cada célula) y zonas de inmersión del material enfriado en superficie (en la periferia de las células). Este esquema convectivo es parecido, efectivamente, pero no idéntico, al de las macrocélulas telúricas que son las placas litosféricas completadas por sus bordes formativos y subductivos. La diferencia principal estriba en que las células de Bénard típicas (fig. 25) son mucho más simétricas que las placas tectónicas; pues no sólo su forma es siempre aproximadamente hexagonal y su tamaño análogo (frente a la diversidad de formas irregulares y de tamaños que se da en las placas), sino que sus límites son todos de naturaleza idéntica, iniciándose en ellos el descenso de la materia recién enfriada en superficie,

que llega de ambos lados (o incluso de tres, en los “puntos triples), a diferencia de lo que sucede con los límites entre placas, que son de diferentes tipos, poseyendo sólo simetría cinética los “formativos”, las *zonas de rift*, pero no los “destructivos”, las *zonas de subducción*. En efecto, el material magmático caliente asciende en A y se extiende a continuación hacia ambos lados, generando suelo oceánico a izquierda y derecha; pero al alcanzar la corteza oceánica –enfriada en su largo recorrido submarino– una zona de subducción (B), dicha corteza queda solamente de un lado (el izquierdo en el diagrama adjunto), mientras que del otro se encuentra normalmente una masa continental rígida que ofrece resistencia y permanece por encima debido a su menor densidad (fig 26). Tales son las importantes diferencias *actuales* entre placas y células de Bénard, pero dichas diferencias podrían haber sido menores en el pasado, en opinión de algunos investigadores. Cuando la corteza continental –muy rígida y mala conductora del calor– apenas existía, hace más de 2800 millones de años, la plausible *tectónica de microplacas* establecida entonces podía tener un comportamiento mecánico mucho más cercano al de las células de Bénard que el de las placas posteriores. De hecho, el geólogo australiano Geoffrey F. Davies defiende, para la Tierra arcaica, un posible modelo con surgencias y subducciones, poseedor de simetría bilateral en todos los casos<sup>51</sup> (fig. 27). ¿Corresponde el “sumidero” B’, con raíces eclogíticas indicadas por Davies con ?, a una de esas zonas de hundimiento de eclogita (de elevada densidad) recién formada

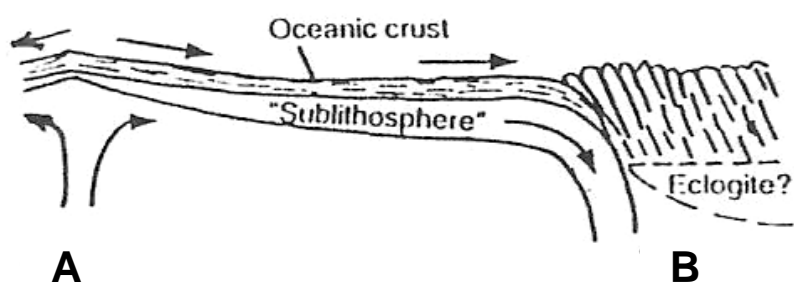


Figura 26. Subducción “asimétrica” actual .

<sup>51</sup> Ver Davies, G.F., “On the emergence of plate tectonics”, *Geology*, 20, 1992, pp. 963-966.

a causa de la disminución paulatina de las temperaturas incluso en profundidad (en relación a los primeros tiempos de la historia del planeta), que debieron proliferar hace entre 2800 y 2500 millones de años, según Kent Condie<sup>52</sup>? En todo caso, este esquema cinético se ajusta, claramente, más al diseño de unas macro-células de Bénard.

Una vez formados los verdaderos continentes, fundamentalmente graníticos<sup>53</sup>, cualquier tectónica basada en unidades estrictamente análogas a células de Bénard se hizo imposible. ¿Razones? Ante todo, la extrema rigidez de la corteza continental, que la aleja de toda dinámica de fluidos y hace de cualquier porción de ella más bien un *límite* que las partes fluentes (corteza oceánica, zonas magmatizadas, el manto, incluso, contando con el factor tiempo...) están obligadas a respetar o, si no, a fracturar. Pero, incluso después de la *bifurcación sistémica* que debió suponer el nacimiento de las áreas continentales graníticas, se mantuvo plenamente vigente el esquema prigoginiano de una estructura global disipativa del flujo geotérmico. Simplemente cambió de forma, “evolucionó”, adaptándose a las nuevas condiciones. Podríamos decir también que el sistema telúrico que llamo Tár-

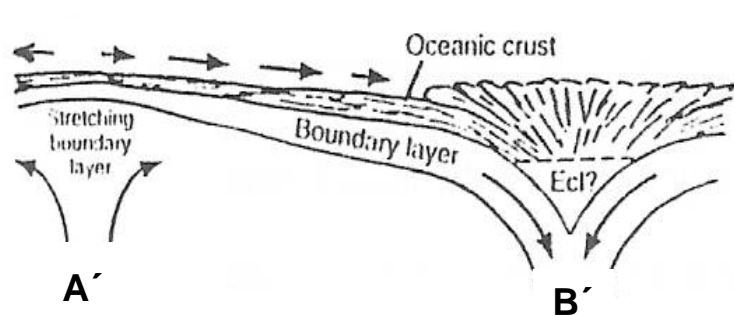


Figura 27. Subducción “simétrica” arcaica, según G.F. Davies

<sup>52</sup> Condie, K.C., *Plate tectonics and crustal evolution*, Pergamon Press, Nueva York, 1982.

<sup>53</sup> Verosímilmente a partir del episodio único, señalado por Condie, que consistió en la producción masiva de magmas ácidos –o graníticos– a causa de la fusión parcial de grandes masas de eclogita que se hundían profundamente en el manto nada más generarse. Ver Anguita & Moreno, *op. cit.*, p. 226.

taro gravitó hacia un nuevo *atractor formal* más adecuado para las nuevas condiciones-límite que el que reflejaban unas células de Bénard clásicas. Y el nuevo atractor era también cíclico: no sólo está el ciclo-base *surgencia* (de materiales basálticos) – *desplazamiento* (de la corteza oceánica) – *subducción* – *descenso* y *fusión parcial* – *fusión en profundidad* – *formación de nuevos magmas*, sino que la separación de los fragmentos continentales que resultan de la división de un protocontinente único, acaba dando lugar a una nueva reunión generalizada, ya que los desplazamientos se realizan, en todo caso, sobre una superficie esférica. Se implanta así un *ciclo supercontinental* de entre 450 y 500 millones de años, el llamado “ciclo de Wilson”, que casi todos los teóricos de la tectónica de placas postulan actualmente. El semblante ineludiblemente cíclico de los fenómenos termodinámicos disipativos queda, de esta forma, fuertemente enfatizado en el caso particular de la estructuración global del planeta Tierra surgida en respuesta a la presencia de un flujo geotérmico importante. Pero, por otra parte, la existencia de acontecimientos únicos que conducen a la reestructuración en profundidad del sistema –como la formación masiva de rocas graníticas que coincidió con el nacimiento de los primeros continentes verdaderos–, rompe la ciclicidad estricta e introduce una dimensión histórica en este primer megasistema terrestre, cuya energía creadora y sostenedora viene de las profundidades. La “Tierra reguladora de la energía que contiene”, el “aspecto Tártaro” del planeta, posee pues los rasgos propios de una realidad autoorganizada mediante mecanismos cíclico-recursivos, de una realidad o entidad que cambia, además, para adaptarse a las nuevas condiciones termodinámicas. Es esto último lo que ha puesto de relieve, muy recientemente, Cándido M. García Cruz<sup>54</sup> al señalar que el *ciclo geológico*<sup>55</sup> no es nunca un círculo

---

<sup>54</sup> García Cruz, C.M., “¿Ciclos geológicos? Aproximación a la Geología Evolutiva”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2002 (10.2), pp. 144-150.

<sup>55</sup> En abstracto. Este término se aplica a los numerosos ciclos concretos que se estudian en geología y que proporcionan a la dinámica terrestre su semblante rítmico. Es partiendo de esta constatación que García Cruz observa que “...en las ciencias de la Tierra es, sin duda, donde más arraigado se encuentra este concepto; tanto es así que aunque los modelos de pensamiento geológico han ido evolucionando a lo largo de los siglos, la idea



cerrado, debido al hecho de que *la intensidad de los flujos energéticos cambia a lo largo del tiempo*. Así, en cuanto se puede ir más allá de la constatación puramente descriptiva de unas regularidades empíricas de aspecto repetitivo, gracias a contar con una teoría general paradigmática (la “nueva” termodinámica lejos del equilibrio), se está asimismo en condiciones de liberarse del rígido corsé uniformitarista: la uniformidad de los procesos geológicos, postulada hasta la ontologización por Lyell, no es ningún “principio fundamental” de la Tierra, sino sólo una aproximación –válida dentro de ciertos límites temporales que no pueden ser traspasados– de lo que ocurre en un planeta como el nuestro, a través del cual pasan flujos de energía cuya intensidad no experimenta grandes cambios durante períodos largos, pero que acaba, de todos modos, modificándose de forma significativa.

La *espiral del tiempo*, de S.J. Gould y tantos otros, aparece ya, por tanto, en la “Tierra inorgánica” de las placas tectónicas móviles y del ciclo de las rocas, hermanándola a nivel formal con la “Tierra orgánica” de los seres vivos (que tantos ciclos encierran y ponen en movimiento) en evolución creadora de *historia natural*, así como Tártaro y Gaia son hermanos –e hijos, ambos, del Caos primordial– en la *Teogonía* de Hesíodo.

---

de ciclo (...) se ha mantenido hasta llegar a convertirse prácticamente en una *tradicón* de las Geociencias.” (*Ibid*, p. 144).

## 6. 5. Gaia y Helios. La segunda megaestructura disipativa planetaria

Ya se ha adelantado la interpretación que algunos autores hacen hoy del fenómeno de la vida como una gigantesca estructura disipativa de que la Tierra se habría dotado, en orden a permitir una eliminación efectiva y rápida de un flujo energético sobreabundante que llega a ella procedente del exterior, y que no es otro que la irradiación solar.

No deja de resultar sorprendente que el fecundador por excelencia de Gaia, en la *Teogonía* hesiódica, fuese precisamente Urano, el Cielo. Y ello, sabiendo que, al margen incluso de la teoría, cada vez más en boga, de una “fecundación” casi literal de la Tierra primitiva por moléculas prebiológicas procedentes del espacio (*panespermia* cósmica), del “cielo” —esto es, de una fuente extraterrestre, el Sol— procede la energía que, desde hace casi 4000 millones de años, sostiene una vida orgánica múltiple y sin cesar diversificada. Se diría que Helios resuena con Urano.

La aplicación del revolucionario modelo de Prigogine a la explicación de la vida orgánica, por iluminadora que resulte, presenta lagunas. De hecho, mantiene intacta la incógnita del origen de la vida. Pues, en efecto, bien podría ser que las primeras formas biológicas terrestres fuesen estructuras disipativas aparecidas en respuesta a un gradiente energético *distinto del solar*, tal vez ese mismo gradiente geotérmico que acabó dando nacimiento a la tectónica de placas. Pero esto no pasa de ser una hipótesis entre otras muchas: la que relaciona el origen de la vida con el vulcanismo submarino.<sup>56</sup> Otras teorías harán depender dicho origen de intensas descargas eléctricas atmosféricas, de la energía solar (incluyendo unas dosis de radiación UV que hoy son letales para la inmensa mayoría de los organismos) o... de la llegada de gérmenes del espacio, asociados a cometas o de alguna otra forma, lo que equivale a

---

<sup>56</sup> Ver, p. ej., Freeman J. Dyson, *Los orígenes de la vida*, trad. del ingl. por Ana Grandal, Cambridge University Press, 1999, pp. 36-37.

declararse incompetente para explicar la aparición de la vida, empujando simplemente hacia atrás el misterioso suceso.

Pero de lo que caben pocas dudas es de que la vida orgánica, al generalizarse como fenómeno a escala planetaria, pasó a cumplir la función de una estructura disipativa global del flujo de energía solar que incide sobre la Tierra. Este hecho, puesto de relieve por Schneider y Kay, entre otros, y susceptible incluso de cuantificación, es, a mi modo de ver, el argumento más poderoso de cuantos se barajan a favor de la hipótesis que defiende la existencia del superorganismo Gaia, el cual no sería, a fin de cuentas, sino el *todo* con funcionamiento holístico que es la expresión de dicha estructura. La intrincada imbricación de la masa total viva (el *biota*) con el *medio* planetario inorgánico, al que, de hecho, hace evolucionar en lugar de adaptarse simplemente a él, justifica hablar de Gaia más que de biosfera<sup>57</sup>; pues todas las geosferas no son, en el fondo, más que unidades sistemáticas trascendidas funcionalmente por la organización global.

¿Por qué caminos concretos ejerce la vida, integrada globalmente como Gaia, su función disipativa del flujo solar? Está la función homeotérmica gaiana, que ha sido tratada ampliamente en el capítulo anterior. Pero, a un nivel más básico, encontramos la utilización directa de la energía solar por la vida, que es obviamente condición necesaria para que el comportamiento de Gaia sea, justamente, el de una estructura disipativa solar (pues, de manera análoga, no cabría concebir las células de Bénard como estructuras disipativas dependientes de un cierto gradiente térmico si no lo utilizaran real y concretamente para formarse, y lo mismo se puede decir de la tectónica de placas con respecto al gradiente geotérmico). Ahora bien, la *función clorofílica* es el fundamento fisiológico de dicha utilización. Esta función, ausente en el reino animal y presente en las bacterias, las algas y los vegetales, consiste, como es bien sabido, en la síntesis de materia orgánica a partir de agua, CO<sub>2</sub> y sustancias minerales, mediante la captación y utilización de determinadas longitudes de onda del espectro solar. Conviene recordar que se trata de una función biológica

---

<sup>57</sup> Westbroek, P. en *Nature*, 391, 1998, pp. 550-551.

antiquísima, muy anterior a la respiración de oxígeno, pues mientras que esta última aparece como un producto de la evolución relativamente tardío (la “revolución del O<sub>2</sub>” tuvo lugar hace algo más de 2000 millones de años), la función clorofílica se encuentra ya en formas de vida que se cuentan entre las más antiguas conocidas (así, las cianobacterias), unas formas que alcanzaron además un éxito extraordinario desde el punto de vista de la diversificación evolutiva y de la colonización de los hábitats. Esto puede explicar el que la joven biosfera –incluso antes de dar nacimiento, propiamente, a Gaia– asumiese enseguida, si es que no las cumplía desde su origen mismo, funciones disipativas de la irradiación energética que llega a la Tierra procedente de la estrella central del sistema.

La función clorofílica misma pone en juego *ciclos*, bioquímicos en su caso, que constituyen un rasgo omnipresente en la organización del mundo viviente. Aunque tampoco se trata de un rasgo exclusivo de éste, ya que procesos cíclicos existen en todas las realidades complejas, “hasta la base misma de la *physis*”, como repite con insistencia Edgar Morin y como adelantaba ya en 1929, Alfred North Whitehead, a quien se deben estas palabras:

El ritmo penetra la vida en su totalidad, e incluso toda existencia física. Este principio común del ritmo constituye una de las razones para creer que los principios básicos de la vida se encuentran ilustrados, aunque en una forma inferior, en todos los tipos de existencia física.<sup>58</sup>

Los ciclos de la vida comienzan con los que constituyen las reacciones autocatalíticas que fundamentan el metabolismo y la práctica totalidad de la bioquímica celular, y se expanden “hacia arriba”, abarcando todos los niveles sistémicos en los que la vida está implicada. Se dan procesos cíclicos de tipo circulatorio, digestivo y respiratorio en el seno de cada organismo; tenemos la repetición de organismos semejantes en el ciclo generación-nacimiento-vida-muerte; está el ciclo actividad-descanso (o vigilia-sueño), y hay ciclos biológicos estacionales, que se generalizan como fenómeno ecológico de escala hemisférica;

---

<sup>58</sup> Whitehead, A.N., *La función de la razón*, Tecnos, Madrid, 1985.

está también el *ciclo trófico* (que, debido a la complejidad de sus detalles, se conoce también como “red trófica”) de la energía que almacenan y utilizan los organismos. Este ciclo es tan importante desde el punto de vista global que conviene decir algo más acerca de él. Se le ha calificado de “ciclo fundamental de la ecología”, y puede ser caracterizado como un ciclo abierto de materia-energía establecido en cada ecosistema, que constituye la principal dinámica interrelacionante que opera en el interior de éste, fundamentándolo físicamente.<sup>59</sup> Su esquema es el siguiente.

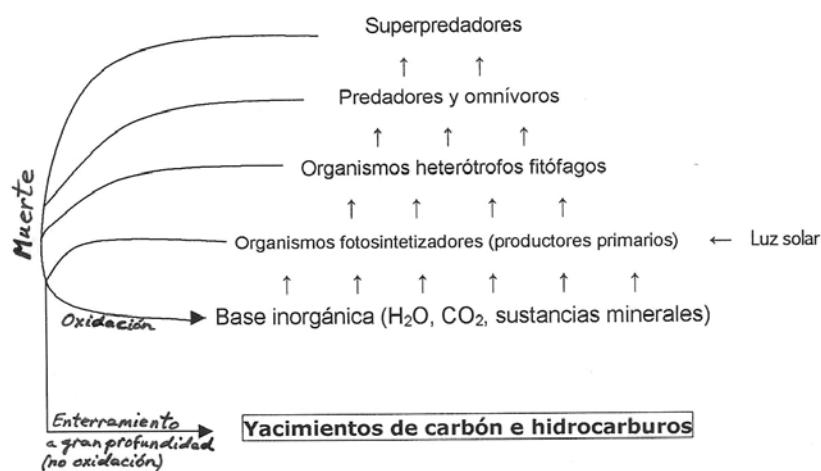


Figura 28. El ciclo trófico y su apertura

La apertura “clásica” del ciclo –y del sistema físico que le corresponde– viene dada por la incidencia de un flujo energético externo, el solar en concreto, que posibilita la fotosíntesis. Ahora bien, existe, de hecho, un segundo proceso que abre también el ciclo trófico: se trata de la extracción fuera de él de una pequeña proporción de la materia orgánica biosintetizada, que acaba sepultada a gran profundidad, sea por subsidencia local, sea por el movimiento de las placas. La realización sistemática, a lo largo del tiempo, de esta eventualidad es, tal como se planteó en el capítulo anterior, un dato de la máxima importancia, que vincula la

<sup>59</sup> Ver, p. ej., Lamotte, M. *et al.*, “Écologie” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, vol. 7, pp. 861-875.

vida –como fenómeno terrestre global– con la dinámica geológica interna. Pues no sólo se encuentra en el origen de los grandes depósitos de carbón e hidrocarburos, sino que es también el fundamento de la transformación radical de la atmósfera de la Tierra, hace alrededor de 2000 millones de años, en una atmósfera rica en oxígeno, así como del mantenimiento, desde entonces, del elevado porcentaje (21%) de este gas altamente reactivo. Ello es así, recordémoslo, porque cada vez que una molécula orgánica, que no ha sido oxidada todavía, es, por así decir, “retirada de la circulación” por enterramiento, una (o varias) moléculas de oxígeno atmosférico que se habían originado en la fotosíntesis, se quedan sin recombinar, enriqueciendo, de tal suerte, en oxígeno la cobertera gaseosa del planeta.

Cabe, por tanto, considerar un último nivel de los ciclos de la vida: los *ciclos geo-bio-químicos gaianos* (del oxígeno, del carbono, etc.) que implican al planeta entero, esencialmente en los “tres medios gaianos” que Tyler Volk ha identificado: la atmósfera, los suelos y el océano (más las aguas continentales); aunque acabamos de ver, al tratar de la “apertura inferior” del ciclo trófico, que no sólo estos tres medios están implicados.

## **6. 6. “Sistema Tierra”: ¿dualidad o unidad compleja?**

De lo visto hasta ahora se desprende cuál es la mayor dificultad para una fundamentación termodinámica del sistema Tierra: los dos flujos o gradientes energéticos que afectan al globo, el *geotérmico* y el *solar*, se hallan en el origen de *dos* megaestructuras disipativas terrestres diferenciadas, de las cuales se ocupan por separado dos teorías independientes, la geotectónica y la de Gaia, que, dejando aparte los avatares tan distintos de sus procesos respectivos de justificación y de

recepción, aparecen condenadas a tener que contar tanto con su mutua compatibilidad objetiva (que proviene del hecho de que la una y la otra dan cuenta de sistemas material-energéticos diferentes) como con intentos de articulación, siendo así que una y otra teoría –ambas termodinámicas y sistémicas– poseen el mismo soporte, que no es otro que el planeta Tierra.

Dicho en pocas palabras, sucede que los dos gradientes en los que la Tierra se baña, nos ponen no ante una unidad sino ante una dualidad sistémica. Ante dos megaestructuras disipativas, origen de dos *sistemas verdaderos*, uno de los cuales (el ligado al flujo solar) ha recibido en estos últimos años el nombre de Gaia, razón por la cual proponemos aquí llamar al otro (el que tiene su origen en el gradiente geotérmico) Tártaro.

Este “dualismo sistémico” de la Tierra parece haber sido intuitivo –todo lo confusamente que se quiera– por la humanidad desde remotos tiempos. La luz, asociada normalmente al Sol, y la oscuridad, vinculada por lo común con tenebrosas profundidades subterráneas, lo “elevado” y lo “hundido”, constituyen dipolos simbólicos prácticamente universales... No hay más que leer las obras de Mircea Eliade, o de otros estudiosos de las simbologías mitológico-religiosas, para convencerse de algo que, de todos modos, ya se sabía: que se está ante una dualidad profundamente anclada en la psique de la humanidad, y ampliamente extendida a través del tiempo histórico y del espacio geográfico. Así, como los dos aspectos, de “vida” y de “muerte”, de una naturaleza globalmente viva, lo luminoso-diurno-primaveral y lo oscuro-nocturno-otoñal se relacionan, en el mito griego de Deméter, con “las dos mitades del ciclo vital” que reflejan las estancias alternantes de Perséfone sobre la Tierra y en el Hades.

Aparte de sus incontestables ecos mitológicos –o arquetípicos, que diría Jung–, esta sorprendente dualidad terrestre implica un buen problema ontológico. Leibniz

decía: “Lo que no es verdaderamente *un ser*, tampoco es verdaderamente un *ser*”.<sup>60</sup> Y tanto antes como después de él, la tradición filosófica que hace de la Vida un rasgo esencial —o hasta un sinónimo— de la Naturaleza, de los grandes pensadores griegos y helenísticos a Whitehead y Bergson, ha subrayado siempre la unicidad de todo ente viviente u orgánico, y la ha contrapuesto a la multiplicidad de las cosas inorgánicas, como tales descomponibles en piezas o fragmentos sin merma ontológica intrínseca. Ahora bien, con la Tierra nos enfrentamos a un caso muy especial: no se trata de una multiplicidad meramente aditiva, formada por partes que podrían “desmontarse y volverse a montar” de modo que el compuesto maquinal, habiendo interrumpido momentáneamente su funcionamiento, podría luego reemprenderlo; sino más bien de algo con rasgos claramente sistémicos pero de naturaleza dual. *Dos* gradientes energéticos en presencia, insisto, hacen surgir *dos* estructuras disipativas globales o, lo que es lo mismo, *dos* sistemas verdaderos implantados holísticamente en dominios casi coincidentes, Tártaro y Gaia.

¿Tiene sentido entonces hablar de *sistema Tierra*? ¿No habría, más bien, que hablar de *sistemas* terrestres, dos en concreto, de cada uno de los cuales debería ocuparse una disciplina específica? Bien, esto último es justamente lo que está pasando: a Tártaro lo estudian los geólogos y geofísicos globalistas, “especialistas en tectónica de placas”, mientras que Gaia es investigada por los geofisiólogos y por algunos ecólogos.<sup>61</sup> Pero ¿no están también los que, desde un lado y desde el otro, buscan una integración, la restauración de un sistema único? Por supuesto, pero tal cosa dista mucho de haber sido alcanzada. Constituye más bien un horizonte disciplinario (e interdisciplinario) cuya consecución comportaría, en mi opinión, el renacimiento de una geología plenamente identificada con su nombre, que nadie podría ya escamotear entre confusos plurales; traería la consagración de una ciencia unificada de la Tierra, entendida esta última como una entidad-sistema

---

<sup>60</sup> Leibniz a Arnauld (30 de abril de 1687), *Die Philosophischen Schriften, II*. Cita tomada de Rioja, A. (1982), *Etapas en la concepción del espacio físico* (tesis doctoral), Fac. de Filosofía de la Universidad Complutense, Madrid, 1984.

<sup>61</sup> Independientemente de que asuman o no el nombre de “Gaia”.



que *lógicamente*, y no sólo instrumentalmente, tendría que contar con un campo propio de abordaje cognitivo.

Por lo demás, me pregunto si los autores que insisten en la unicidad *perfecta* de toda entidad de tipo orgánico no caen en una idealización, bastante antivital por otra parte. Así, Vladimir Jankélévitch, filósofo bergsoniano, dice en la obra que consagra al pensamiento de su maestro:

El rasgo distintivo de las cosas espirituales –organismo, obra de arte o estado del alma– consiste, por tanto, en ser siempre *realidades completas*, en bastarse siempre perfectamente a sí mismas.(...) El universo de la vida es, al contrario [*que el de los objetos inorgánicos*], un universo de individuos, de totalidades “insulares” y, en toda la extensión de la palabra, de obras maestras [*chefs-d’œuvre*] que, como los *inteligibles* de Plotino, son “partes totales”, es decir, expresan cada una el conjunto completo de un mundo del que parecen ser partes.<sup>62</sup>

No creo que el anterior párrafo transmita una buena aproximación a la realidad, sin ser tampoco completamente falso. Pienso que el autor estaría en lo cierto si hablase del *anhelo de completitud* que late en todo lo viviente en sentido muy amplio (lo que él llama las “cosas espirituales”, en las que comprende desde los organismos hasta las obras de arte), pero que se equivoca al dar por sentado que semejante completitud es algo dado, y menos aun “perfectamente”. No es así. El mundo entero de la vida, en el más amplio y whiteheadiano sentido de la palabra, que abarcaría desde dominios sistémicos prebiológicos hasta los campos indiscutiblemente espirituales de la creación artística, el amor auténtico y la búsqueda del conocimiento, está hecho de incompletitudes y de insuficiencias. Es más, también de mutilaciones, de rupturas, de unidad perseguida y no alcanzada (o sólo parcialmente). No es una obra de arte acabada, sino un lienzo –o una partitura– perpetuamente a medias. Por eso se considera la tragedia como la más sublime de las artes escénicas, y pudo Unamuno decir, con razón sobrada, que no hay vida que

---

<sup>62</sup> Jankélévitch, V. (1959), *Henri Bergson*, P.U.F., París, 1989, pp. 9-10.

no sea sentida trágicamente. Se podría, incluso, pensar en una modificación razonable de la frase de Leibniz que acabamos de traer a estas páginas: Lo que no busca devenir *un* ser, lo que no trata de llegar a ser *uno*, no es verdaderamente un *ser*.<sup>63</sup>

¿“Buscan” los dos megasistemas terrestres integrarse en uno? La pregunta, a caballo entre la ciencia y la filosofía de la naturaleza, pide una respuesta que tenga en cuenta los hechos. O, más modestamente, los indicios. Pero ¿hay indicios que apuntan hacia esa integración? Hay, por lo menos, condicionamientos mutuos bastante claros... Recapitulemos:

#### 1. Gaia → Tártaro

- La *homeostasis térmica* posibilita la continuidad de la tectónica de placas, fundamentalmente por dos motivos:
  - a) Permite la transformación basalto-eclogita en el manto superior, un proceso que permitió a su vez la puesta en marcha y el mantenimiento de la subducción.
  - b) Mantiene una hidrosfera que incluye enormes áreas oceánicas. Y el agua líquida facilita físicamente la subducción.
- Es muy probable que las grandes masas de sedimentos carbonatados biogénicos que tapizan los fondos marinos faciliten también la subducción.

---

<sup>63</sup> Da incluso la impresión de que es esta especie de “ley” por la que *lo incompleto se halla en búsqueda permanente de completitud* la que promueve la apertura y el impulso hacia los “sistemas de orden superior”. Basten tres ejemplos como botón de muestra:

- En el nivel atómico, la incompletud (cuántica) del último orbital, el más exterior, origina los enlaces y da, por tanto, nacimiento al nivel sistémico que representan las moléculas, y en definitiva a la química.
- La sexuación de numerosas formas de vida (entre ellas, todas las superiores) es una forma de incompletud en busca de completitud, cuyo resultado es promover las “asociaciones reproductoras” (con frecuencia, también afectivas y de convivencia).
- La insuficiencia del individuo en múltiples aspectos, hace que en muchas especies –no sólo en la humana– surja un nivel social.

## 2. Tártaro → Gaia

- La fase endógena (subducción + vulcanismo) del ciclo global del carbono, recursivamente relacionada con procesos exógenos biológicos, es sumamente importante para modular la curva de la temperatura media planetaria. *Base de un probable bucle autorregulador.*
- La retirada geotectónica regular de carbono orgánico sin oxidar es la clave del cambio espectacular que experimentó la atmósfera, y del mantenimiento aproximado –desde hace algo más de 2 000 m. de a.– del porcentaje de O<sub>2</sub> .
- El ciclo supercontinental de Wilson implanta, a gran escala temporal, un ritmo climático y de biodiversidad.

Estos acoplamientos ente las dos megaestructuras disipativas terrestres sugieren que la unicidad estructural, de base termodinámica, puede no ser una condición necesaria para la unidad ontológica, que podría emerger de todos modos, incluso subsistiendo rasgos duales. Encuentro esta posibilidad coherente con las consideraciones filosóficas sobre la incompletitud de toda entidad real expuestas unas líneas más arriba, y también con las siguientes reflexiones de Jankelevitch, en las que, se diría, entra en contradicción con la definición “completivista” de lo viviente que él mismo propone y que hemos citado hace poco:

Nada como la música consigue imitar mejor [*las totalidades orgánicas*] (...) ¿No permite acaso la polifonía conducir paralelamente varias voces superpuestas que se expresan simultáneamente y se armonizan entre sí, permaneciendo distintas y hasta opuestas? (...) Los temas se enfrentan, se mezclan, se contaminan mutuamente, y cada uno de ellos lleva la marca de todos los demás. Así hace la vida: asocia en contrapuntos paradójicos experiencias que nos parecen no tener relación...<sup>64</sup>

Se tiene la impresión de que esta soberbia metáfora musical se aplica muy bien a la “sinfonía de la Tierra”, aunque los dos temas en presencia –aquél cuya motivación viene “de arriba”, de la energía que envía el Sol, y el que procede “de

---

<sup>64</sup> Jankelevitch, V., *op. cit.*, p. 9.

abajo”, del calor emitido por las profundidades— más parecen distintos, simplemente, que contrapuestos. Sin embargo, que el resultado sea cacofónico (asistémico) o polifónico (sistémico), es algo que no viene dado de antemano.

Saber si estamos ante una polifonía “a dos voces”, ante un auténtico *sistema Tierra* de base dual, cuya eventual integración habría de seguir caminos ineludiblemente complejos, tal debería ser el objetivo de una investigación que no dudo en calificar de fundamental.

## **6. 7. La caracterización ontofenómica de las disciplinas científicas, y el caso específico de la geología**

### **6. 7. 1. Ontología sistémica e intuición de realidad**

Ervin Laszlo es un pensador húngaro contemporáneo que se halla entregado a la tarea de desarrollar la teoría general de Sistemas, se diría que justo a partir del punto en que von Bertalanffy la dejó<sup>65</sup>: contando con la evidencia de que las realidades holísticas que emergen en las reorganizaciones globales de sistemas material-energéticos que han sido llevados muy lejos del equilibrio estático, no son otra cosa que *sistemas verdaderos* en sentido bertalanffiano.

Apoyándose en esta constatación, Laszlo consigue poner en pie un edificio teórico de notable coherencia. Su obra principal, *Evolución: la gran síntesis*<sup>66</sup>, consolida la visión sistémica al fundamentarla del modo más explícito en la

---

<sup>65</sup> Ervin Laszlo se encargó, junto con Edgar Taschddjian, de la publicación de la obra póstuma de von Bertalanffy. Ver: Maria von Bertalanffy y Laszlo, E., Prólogos [*dos*] a von Bertalanffy, L., *Perspectivas en la teoría general de sistemas*.

<sup>66</sup> Laszlo, E., *Evolución: la gran síntesis*, Espasa-Calpe, Madrid, 1988.

termodinámica de estados alejados del equilibrio, un camino hacia el que, como hemos visto, ya apuntaban los últimos escritos de von Bertalanffy. La idea central –que también encontramos en otros autores, y que, en realidad, se desprende de los escritos de Prigogine– es que el fenómeno crucial de la “reorganización autoorganizativa” se repite a múltiples niveles, desde los escalones más básicos de la materia hasta los máximos estadios discernibles de complejidad: las realidades humanas, por un lado, y las biosféricas globales, por otro. Y que es precisamente así como los *niveles de realidad* han ido surgiendo (fig. 29), en un proceso cosmogónico que Laszlo no duda en llamar “evolución”, deslegitimando de paso la pretensión neodarwinista de detentar la exclusiva del término.

Sin entrar, por el momento, en los detalles de la concepción de Laszlo, vemos a qué visión del panorama general de las ciencias de la naturaleza (y de algunas otras) nos conduce: cada ciencia plenamente consolidada es, *grosso modo*, focalización cognitiva sobre un nivel de realidad o *nivel sistémico*. La física cuántica se centra en las realidades correspondientes al nivel del universo que creemos básico; la química, en el estudio de la materia a los niveles atómico y mo-

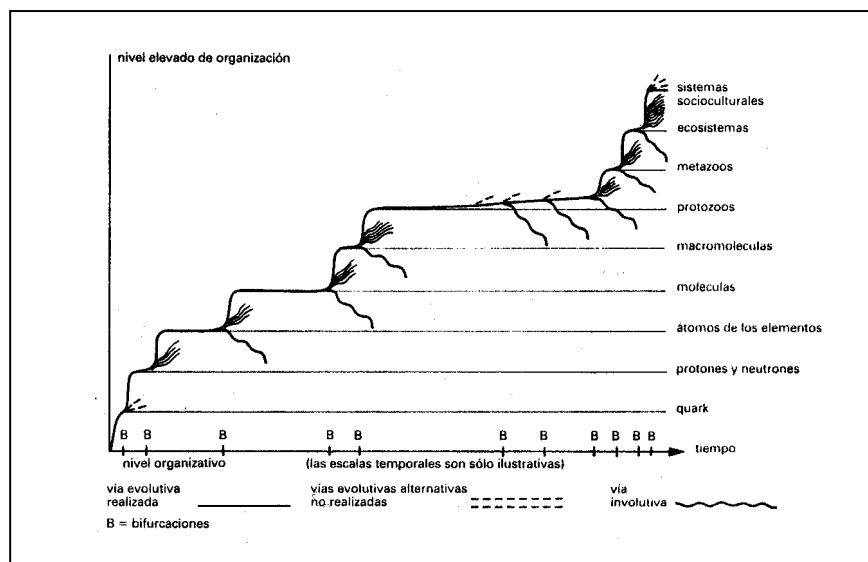


Figura 29. Nacimiento de niveles sucesivos de organización, según E. Laszlo

lecular, junto con el de los modos en que sus transformaciones se llevan a cabo; la física clásica, en las leyes que rigen los intercambios de energía y el comportamiento exterior de la materia a partir de la existencia de átomos y de flujos energéticos; la biología, en el nivel de complejidad de la vida orgánica, con subdivisiones orientadas a abordar el nivel de las macromoléculas autorreplicativas (biología molecular), el de los organismos (biología celular, zoología, etc.), el de la diversificación y transformación de éstos en el curso del tiempo (biología evolutiva), y el de su interdependencia, origen de los ecosistemas (ecología). De hecho, también la antropología, así como una psicología y una sociología dignas de sus respectivos nombres, encuentran plena justificación y lugar en este esquema. El cual no debe ser entendido como estrictamente “compartimentista”, pues *ciencias-puente* –como la físico-química– resultan perfectamente admisibles en su marco.

¿Y las así consideradas ciencias de la “creación de nueva realidad”, las *tecnociencias*? Su caso es más problemático. De entrada, hay que preguntarse qué clase de realidad es esa, porque tengo la impresión de que últimamente se tiende a frivolar una noción que es, se mire como se mire, la clave de bóveda de todo el pensar filosófico. Si el ser humano, mediante su actuación tecnológica, llega a dar nacimiento a una nueva rama o nivel del mundo (lo que sólo el paso de una cantidad razonable de tiempo podría, o no, confirmar), qué duda cabe que “eso” tendrá que ser objeto de ciencia. Pero ¿debe serlo el bosque de artificios, de apariencias, de que nos rodeamos y que no hacen sino devolvernos, eso sí, magnificados, nuestros propios contenidos mentales y volitivos? Sinceramente, no lo creo, ya que parece haber mucho solipsismo encubierto en no pocos cantos actuales a la tecnociencia como “superación” del concepto clásico de ciencia, entendida como aproximación al conocimiento –aunque sea fenoménico– de la realidad. Se ha escrito mucho, y también criticado, la conocida actitud griega que contraponía *theoreia* (búsqueda del conocimiento como contemplación) a *techne* (producto obtenido por la habilidad de un artífice), pero yo me pregunto si aquella postura tan radical no se debía a una sabia prevención frente al auto-encerramiento que la fascinación por la *techne* es

susceptible de provocar, estrechando la salida de la caverna o incluso quitando todo deseo de abandonarla.

Yo llamaría *ontofenomenica* a esta manera de entender las ciencias básicas derivada del enfoque sistémico. Parte, si se quiere, de un programa metafísico de investigación, en el sentido de Popper: el basado en la convicción –que recibe fuerte apoyo empírico– de que *la naturaleza es autogenerativa*, por el hecho de dar nacimiento, por vía evolutiva, a sucesivos niveles ontológicos. La percepción de tales niveles la obtenemos partiendo de nuestra propia pertenencia a uno de ellos: el biológico metazoario de altísima complejidad que corresponde al género *homo*. Así, desde el nivel sistémico humano en el que estamos situados, nuestra “mirada primaria” –nuestra capacidad perceptiva, desarrollada en el curso de la evolución– identifica de forma inmediata, *vital* o *intuitivamente*, en primer lugar las realidades humanas mismas (los otros seres humanos con sus claves afectivas y comunicacionales, las realidades sociales...) y luego las otras entidades vivas, en tanto que tales. Más allá de estos ámbitos sistémicos –y ontológicos– inmediatos o muy próximos, la mirada humana está obligada a “secundarizarse” en una cierta medida, lo que significa que los instrumentos cognitivos más recientemente surgidos, los de la reflexión distanciada y el análisis, deben necesariamente entrar en juego para poder penetrar en los niveles *infra* y *supra*, e identificar las entidades que los constituyen. Aunque cabe poner en tela de juicio que únicamente procesos analíticos conduzcan a captar las “cosas fundamentales” de los distintos niveles de realidad; porque al final de toda cadena de datos puntuales, recolectados u obtenidos mediante experimentación, se encuentra indefectiblemente un momento de síntesis conceptual, ese famoso *insight* o “clic gestáltico” de que tantas veces se ha hablado a lo largo de estas páginas. Y aquí entran en conflicto dos interpretaciones rivales de lo que ocurre en semejante momento: la que asegura que entonces “montamos la realidad” (interpretación constructivista) y la que defiende que lo que hacemos es aprehenderla (interpretación realista). Aunque desde luego yo no creo que nosotros, los observadores humanos, creamos la realidad, pienso que el realismo, para poder ser totalmente aceptable, debe abrirse a matices como los que expuse en el

subapartado 1. 2. 1. Por un lado, la consciencia también forma parte de la realidad, y es mutilador pretender ignorarlo; por otro, cada aprehensión de cualquier parcela de realidad está necesariamente sesgada y “filtrada”, justamente por fenoménica, y ello aunque dicha aprehensión se comparta corporativa o socialmente (sinceramente, no veo en qué puede esto cambiar las cosas). Ahora bien, siendo así, ¿cómo puedo yo estar seguro de que las entidades-sistemas que pueblan y definen los diferentes niveles del mundo no son meros constructos? Sé que responder a esta pregunta no es fácil (por eso hay tantos constructivistas...), y la respuesta que aquí ofrezco no es sino *mi* respuesta, en definitiva una apuesta personal.

Para ir más allá del *realismo ingenuo* (la suposición de que lo percibido es, sin más, la realidad), yo distingo tres caminos que llamaré *reduccionista*, *platónico* y *científico-místico*.

- El camino reduccionista apuesta por la primacía ontológica de los niveles de realidad subyacentes (los niveles *infra*). Dichos niveles serían, de hecho, más fuertes ontológicamente cuanto más “inferiores”, lo que implica de paso remitirse a escalas espaciales cada vez menores. La inadecuación del reduccionismo físico para resolver el problema de la realidad, salta a la vista: ¿por qué “lo más pequeño” habría de ser lo más real?, ¿qué razones de fondo hay para privilegiar de tal modo la dimensión espacial, o extensional, como fuente de definición ontológica?<sup>67</sup> ¿Y dónde se debe detener la regresión en busca del “último ladrillo de realidad”? ¿O se trata de una regresión infinita? Resulta sorprendente que esta propuesta, filosóficamente tan endeble, continúe encontrando un eco tan amplio entre los científicos.
- El camino platónico defiende que la auténtica realidad es un *logos* matemático. El sustrato ultrínimo podrían ser leyes lógico-matemáticas inmutables, capaces de configurar las dimensiones espacial y temporal, y de originar las estructuras más íntimas de lo que llamamos materia y energía. Esta es la apuesta de algunos físicos

---

<sup>67</sup> A menos que, más que de razones, se trate de una paradójica “superstición cartesiana”.



cuánticos, cosmólogos y, por supuesto, matemáticos, pudiendo citarse a Roland Omnès como uno de sus más ilustres representantes actuales.<sup>68</sup>

- Quienes van por el camino científico-místico insisten mucho en el carácter inaccesible de la realidad en sí. Pero tal cosa no significa que quizás por otros medios, no racionales, la esencia última de lo Real no pueda ser alcanzada. Los defensores de este punto de vista no suelen hacer propuestas concretas sobre tales medios, aunque sí dejan flotar sugerencias inequívocamente místicas. Esta postura no es rara entre los físicos cuánticos, y yo citaré a Bernard d'Espagnat entre los contemporáneos<sup>69</sup> y a David Bohm entre los ya fallecidos<sup>70</sup>, pero podrían encontrarse otros ejemplos sin dificultad.<sup>71</sup>

Ninguno de estos tres caminos es el mío. Reconociendo mi deuda, al respecto, con Bergson, pienso que lo más razonable es suponer que unos seres surgidos evolutivamente en un mundo con niveles de realidad múltiples y entre los cuales no se halla implantada prioridad ontológica alguna, estén dotados psíquicamente para reconocer como reales a los “sistemas verdaderos”. De ahí mi aceptación de la noción epistemológicamente central del bergsonismo, de la noción de intuición, que no es, para mí, sino esa misma capacidad innata. ¿Es que no da que pensar el que las mayores críticas con que se enfrentó la observación kuhniana de una similitud entre las sustituciones de paradigmas y los *giros gestálticos* vinieran de aquéllos a quienes escandalizaba una descripción de los cambios de visión del mundo que evocaba procesos psicológicos intuitivos?

---

<sup>68</sup> Ver Omnès, R. (1994), *Filosofía de la ciencia contemporánea*, Idea Books, Madrid, 2000.

<sup>69</sup> Ver d'Espagnat, B. (1981), *En busca de lo real*, Alianza, Madrid, 1983. Ver también: d'Espagnat, B., “La réalité, pourquoi et comment” en *Revue Internationale de Philosophie*, vol. 54, 212 (2 / 2000).

<sup>70</sup> Ver Bohm, D. (1980), *La totalidad y el orden implicado*, Kairós, Barcelona, 1987.

<sup>71</sup> Puede consultarse: VV.AA., *Cuestiones cuánticas (escritos místicos de grandes físicos)*, Ken Wilber (ed.), Kairós, Barcelona, 1987.

Para las dos críticas que he escuchado, a la propuesta bergsoniana –o, si se quiere, neobergsoniana– de una capacidad intuitiva innata de identificación de las *realidades intrínsecas* o sistemas verdaderos: la imposibilidad de control intersubjetivo de unas evidencias intuitivas que serían, en todo caso, individuales, y la ausencia de la facultad de intuir en algunas (o numerosas) personas, pienso que existen respuestas. Frente a la primera crítica, es posible aducir que la comunicación intersubjetiva de las intuiciones ontológicas es perfectamente viable y que se da, de hecho, normalmente. Así, la resistencia social –y también intelectual– que encontraron los cartesianos cuando intentaron promocionar su concepción del *animal-máquina*, no procedía de prejuicios, como afirmaban algunos de ellos, sino de una intuición ampliamente compartida que ya había demostrado su solidez resistiendo durante siglos a la doctrina oficial de la Iglesia. Otros ejemplos de intersubjetividad intuicional serían el disfrute en común de la música –un tema predilecto tanto de Bergson como de los fundadores de la *Gestalt*– y el movimiento orientado al reconocimiento de la integralidad orgánica de la Tierra, a partir de su visión, en sentido literal, desde una perspectiva exterior.<sup>72</sup>

Y en relación a la segunda crítica, cabe preguntarse si es posible sostener seriamente que la ausencia individual de un sentido interno pueda bastar para negar dicho sentido o para restarle todo valor. ¿La creciente extensión social de la preferencia por formas de placer auditivo basadas en martilleos monocordes, llevaría a negar o a desvalorizar la capacidad de disfrutar de la música clásica? ¿La insolidaridad, ampliamente extendida en nuestras sociedades, nos haría negar la compasión, y cuestionar que hay mucha gente que sigue sintiéndola?<sup>73</sup>

---

<sup>72</sup> El tipo de intersubjetividad propio de la intuición es el que corresponde a las innegables resonancias afectivas de esta última, un rasgo que reconocen y subrayan Bergson y sus seguidores (ver, p. ej., Jankelevitch., *op. cit.*, epílogo: “Avec l’âme toute entière”, pp. 286-296). Lo que, si bien prueba su carácter arcaico (el cerebro límbico, sede de la afectividad, es anterior al neocórtex, sustrato neurológico del procesamiento intelectual), no debilita en nada la idea de que se trata de una facultad cognitiva “fundamental”: considérese la etimología de este último término.

<sup>73</sup> Cabría proponer un experimento mental. Supongamos que, en una cierta región, a *todos* los niños les fuesen extirpados los ojos al nacer, pretextando que se trataba de una medida

### 6. 7. 2. La geología, ciencia de las “realidades coherentes análogas a la Tierra”

Mi personal respuesta a la pregunta planteada es, pues, que el ser humano posee una arraigada *intuición de realidad*, que juega un papel fundamental e insustituible en la identificación de los distintos niveles ontológicos o, como gustan denominarlos algunos pensadores contemporáneos, de los diferentes *niveles sistémicos*. Este punto de vista encuentra una aplicación excepcionalmente esclarecedora en el caso de la Tierra. Una importante tradición cultural que viene de Grecia, continuada primero por los *filósofos naturales* del Renacimiento, y luego por James Hutton, contemplaba la Tierra como un ente orgánico, pero se trataba de una intuición con poca base racional-empírica. Los geólogos post-huttonianos abandonaron esa concepción y se centraron crecientemente en investigaciones locales, mientras las *teorías de la Tierra* tendían a hacerse ancilares de la física (con especial énfasis en la termodinámica boltzmaniana) sin que se percibiera un nivel específico.

Alfred Wegener representó el primer síntoma de la recuperación de una imagen esencialmente dinámica del planeta, y no olvidemos que el “abuelo” de la tectónica global fue tenido en su tiempo por un visionario intuitivo, y que ha pasado a la historia de la geología como una figura romántica. Tras una marginalización de cuatro décadas que tuvo mucho de “fase de resistencia”<sup>74</sup> en la controversia entre *degradacionistas*<sup>75</sup> y *energetistas*<sup>76</sup>, el retorno del moviismo bajo la nueva forma de

---

higiénica. Estaríamos literalmente “en el país de los ciegos”. En él, la “leyenda de la vista” sería tenida por cosa de locos, pese a los intrigantes *flashes* ópticos (la mayor parte, en sueños) que unos cerebros que habían contado, en el transcurso de su evolución, con el sentido de la vista, no dejarían de producir...

<sup>74</sup> Ver Kuhn, T. S., *La tensión esencial*.

<sup>75</sup> Conocidos comunmente como direccionalistas. Ya he señalado que no encuentro esta última denominación especialmente feliz, porque no queda claro a qué dirección se alude. Dado que ésta no es otra que la resultante del enfriamiento, o degradación termodinámica, de la Tierra, el término “degradacionismo” me parece más adecuado.

tectónica de placas nos permite apreciar el excelente resultado de una complementación entre el análisis exhaustivo de datos y la intuición de una coherencia sintética y estética. Que Harry Hess se daba perfecta cuenta de que su visión grandiosa de la expansión del suelo de los océanos desde las cordilleras dorsales era básicamente intuitiva, lo demuestra la definición que hizo de su propia teoría como “geopoesía”, y ya se ha dicho que las famosas “conversiones” a la tectónica de placas, de finales de los sesenta, de las que existen numerosas descripciones, tienen todas las características de los *clics gestálticos*, de esos momentos en que se percibe que todo encaja en una sinfonía unitaria.

Aunque hasta ahora no se la ha venido considerando geológica en sentido estricto, la de Gaia es indiscutiblemente una teoría de la Tierra (y, por lo demás, se diría que cada vez hay más geólogos dispuestos a aceptar que se trata de una idea perteneciente a su campo). Y ni que decir tiene que esta teorización responde a una poderosa intuición-raíz. Aunque tampoco haría honor a la verdad quien calificase la concepción gaiana de puramente intuitiva, pues ya hemos visto los caminos observacionales y deductivos que condujeron a Lovelock a proponerla, y además se está dando en ella una evolución que lleva a conceder cada vez más peso a los aspectos estrictamente analíticos<sup>77</sup>. De todo ello hemos ofrecido una panorámica en el capítulo 5.

Pero lo verdaderamente importante es que las dos últimas grandes teorías de la Tierra, la “consagrada” y la que “lucha por hacerse respetar”, responden *ambas* a la profunda intuición de una Tierra-sistema, de una Tierra – entidad coherente. El siglo XX ha terminado, y ha empezado el XXI, con *dos teorías sistémicas de la*

---

<sup>76</sup> La controversia en cuestión quedó especialmente bien definida a partir de la propuesta por Holmes (1929) de su hipótesis explicativa de la deriva basada en corrientes de convección.

<sup>77</sup> Aquí nos situamos a medio camino entre el contexto de justificación y los inicios de la “ciencia normal” de Gaia.

*Tierra* en presencia...<sup>78</sup> que ni siquiera son rivales. Y ello porque aparentemente *no* se refieren al mismo sistema. ¿O sí que se refieren, en el fondo?

En la medida que el modelo geotectónico constituye una “teoría de la Tierra” paradigmática, y que cada día son más los científicos que valoran positivamente la propuesta de una regulación homeostática del planeta en su conjunto por la biosfera, empieza a echarse en falta un programa de investigación centrado específicamente en definir el eventual vínculo o, al contrario, la falta de todo vínculo, entre las dos macroestructuras disipativas terrestres que son la geológica *sensu stricto* de la tectónica de placas, que he propuesto llamar Tártaro, y la bio-geológica de Gaia.

Pudiera ocurrir que estos dos modos de organización global existiesen en paralelo, sin interferirse ni reforzarse. Pero parece difícil que, “casi” compartiendo el mismo dominio<sup>79</sup>, no hayan surgido resonancias entre ellos. De hecho, se han señalado varias, que ya han sido enumeradas. Una tendencia a la unificación parece, pues, apuntarse. Sea como fuere, en la Tierra se han reconocido numerosos rasgos integradores que permiten contemplarla sistémicamente, como un objeto no convencional (no meramente *proyectivo* ni sólo definido utilitariamente). Me parece que es esto mismo lo que desde la corriente de la *Gestalt* se sugiere que debe ser indagado caso por caso, con vistas a evitar las proyecciones subjetivistas pseudo-ontológicas, y ello manteniendo una perspectiva fenomenológica que se entiende como investigación de las condiciones de aprehensión de las “cosas mismas”, de las entidades reales.

La constitución de una geología dotada de auténtica coherencia interna, que quedaría redefinida como *la ciencia básica enfocada sobre el “sistema Tierra”* y

---

<sup>78</sup> Y ninguna teoría típicamente mecanicista (o si acaso, alguna marginal, mucho más marginal que la de Gaia). No deja de ser sorprendente.

<sup>79</sup> “Casi”, puesto que se trata, como hemos visto, de dominios ligeramente desfasados en sentido vertical. Recordémoslos: fundamentalmente la litosfera y el manto en la tectónica de placas, los suelos, de nuevo la litosfera (rica en rocas biógenas), los mares y la atmósfera, en el caso de Gaia. Pero estos límites no son rígidos.

*sobre cualesquiera otras realidades del mismo tipo (o más bien, rango sistémico) que pudieran llegar a descubrirse en el universo*, sería, a mi modo de ver, el resultado más natural de la profunda transformación de las ciencias de la Tierra que dio comienzo a principios del siglo XX –pienso que con Wegener– y que todavía se halla en curso.

No podría dar por terminado el presente capítulo sin detenerme a señalar que el auge del enfoque que propone enmarcar la práctica totalidad de las dinámicas terrestres en la noción globalizadora de *Earth System*, parece haberse incrementado en los últimos años. Da la impresión de que el concepto de “sistema” ha superado todos los recelos que pesaban sobre él. Esto vendría a apoyar la opinión de que la teoría de Sistemas ha encontrado, al fin, unas bases teóricas lo suficientemente sólidas en la termodinámica del no-equilibrio, unas bases que no sólo le han proporcionado respetabilidad, sino que están proporcionándole carácter paradigmático de cara a un amplio abanico de dominios en los que encuentra aplicación. Esta última observación me hace considerar más pertinente aun, si cabe, la propuesta central de la presente tesis, a saber, que en orden a llegar a dilucidar si puede hablarse o no, con toda propiedad, de *un “sistema Tierra”*, es esencial la investigación de los vínculos que ligan entre sí a las dos macroestructuras disipativas terrestres que han surgido, por vía evolutiva, en respuesta a esos dos flujos energéticos bien distintos que son el geotérmico y el solar. Si insisto ahora en esta propuesta es porque percibo una cierta confusión en determinados discursos sobre el *sistema Tierra* que, presuponiendo la racionalidad de dicho concepto, se la escatiman a la teoría de Gaia. Según mi parecer, semejante presentación no tiene, en el fondo, mucho sentido, puesto que Gaia se refiere específicamente a la estructuración disipativa global de la Tierra que está ligada al flujo de energía solar, mientras que *Sistema Tierra* es un concepto más abarcante, aunque también –ya lo hemos visto– más vago, menos definido.

## CONCLUSIONES

Es esta una tesis que trata de la Tierra. Pero de la Tierra vista desde un prisma muy particular: como lugar privilegiado de focalización de paradigmas. Referentes a ella misma como “planeta-mundo”, y referentes también al mundo como “naturaleza”.

Como no podía ser de otro modo, la presente tesis asume, de entrada, ciertas nociones básicas, y la noción de “paradigma” es una de ellas. Si bien dicha noción, de origen platónico, fue recuperada para la epistemología contemporánea por Thomas S. Kuhn, este autor no ha sido el único en utilizarla: otros pensadores también lo han hecho, al margen, en general, tanto de la corriente que va del neopositivismo a la filosofía analítica, como de la “crítica sociológica de la ciencia”. De entre ellos destaca el francés Edgar Morin, que contribuye hoy mismo a ahondar en el concepto en cuestión, en el contexto de una crítica al cartesianismo orientada a poner en pie un *método* apropiado para dar cuenta del innegable dato de la *complejidad*, así del mundo (o, como él dice, de la naturaleza) como del pensamiento y la cultura.

La aproximación científica a la Tierra ha estado siempre, y en mi opinión sigue estando, fuertemente condicionada por la presencia (implícita, normalmente) de determinadas *tradiciones culturales*, portadoras en unos casos de apuestas ontológicas fuertes, cuando no de auténticos dogmas, y en otros de categorías conceptuales que orientan a percibir la Tierra a través de determinadas lentes paradigmáticas.

Otro rasgo –éste extremadamente acusado– de dicha aproximación es la *visualidad* de los modelos telúricos. Esta característica, ligada a la escala del globo terráqueo, aleja a la geología clásica (la *ciencia de la Tierra* tradicional) del “abstraccionismo” y del formalismo, la aleja de una física completamente marcada por la matematización, y la aproxima al origen fundamentalmente visual (o, en todo caso, no verbal) de la

psicología de la *Gestalt*, que tanta importancia llegó a tener para el autor de *La estructura de las revoluciones científicas*.

Pero las concepciones paradigmáticas de la Tierra no han promovido, en el pasado, consensos generalizados, como exige la definición kuhniana de un “paradigma fundador de una ciencia madura”. En lugar de eso, los paradigmas de la Tierra anteriores a los años 60 del siglo pasado, han formado sistemáticamente *pares dicotómicos* que constituyen perfectas ilustraciones de las dicotomías temáticas estudiadas por Gerald Holton. Verdad es que se hace, muchas veces, difícil discernir si en la raíz del “tema” fundador de un paradigma telúrico se encuentra una *gestalt* propiamente visual (los continentes en movimiento), una *gestalt* de fuerte trasfondo simbólico (el fuego como única causa operativa, el agua..) o bien un “principio regulador” (por ejemplo, la exclusiva operatividad de las causas actuales). Ahora bien, es justamente la constatación de que la catalogación de las raíces paradigmáticas en uno u otro apartado, no influye sensiblemente ni en el dicotomismo de las apuestas teóricas ni en el tono emocional, lleno de resonancias valorativas, de las “guerras paradigmáticas” entabladas, lo que me hace pensar que detrás de esas *gestalten* y de esos principios reguladores podría encontrarse un “nivel organizador” de la percepción y de la conceptualización más profundo, tal vez no muy distinto de lo que algunos pensadores, entre los que habría que citar a Jung, Gilbert Durand y el mismo Edgar Morin, denominan el “nivel de los arquetipos”.

Sea como fuere, la imagen que el hombre occidental tiene de la Tierra está, según mi parecer, fuertemente condicionada por la presencia antagónica de dos importantísimas tradiciones culturales que, desde la Antigüedad, han percibido la naturaleza terrestre de maneras muy diferentes. Se trata de la *geotradición* que se enraíza en el Antiguo Testamento, y de aquella otra que parte de la visión que de la Tierra se tenía en la Grecia clásica. La primera de ambas geotradiciones nos presenta una “Tierra-escenario”, y la segunda una “Tierra-organismo”. Según los textos bíblicos, lo que hoy sabemos que es el planeta Tierra no es sino el *lugar*, dispuesto a tal efecto por Yahvé, en el que se desarrolla la historia de la “criatura por excelencia”,



el ser humano, desde el momento en que fue creada hasta el “fin de los tiempos”, sin que a tal lugar corresponda otro papel que el de proporcionar un espacio adecuado para que semejante historia pueda desplegarse. El protagonismo absoluto del hombre, “hecho a imagen y semejanza de Dios”, tiene como contrapunto una gran desvalorización así de la Tierra como de todos los demás entes naturales que viven en ella, a los cuales el hombre está llamado a dominar de manera irrestricta. No hay, por lo demás, continuidad entre el resto de la creación y el ser humano, habiendo sido éste creado independientemente “el sexto día”.

En llamativo contraste, tanto los mitos griegos como los grandes filósofos de la época clásica transmiten la imagen de una Tierra-entidad. La forma griega de ver la morada del hombre en el cosmos era compartida, es verdad que con matices, por filósofos como Platón y Aristóteles, que se oponen en tantos aspectos. Se inicia ahí una tradición de la Tierra que ha conocido diversos momentos de auge y que llega –al igual que la anterior– hasta el presente.

Pienso que la contraposición de estas dos “tradiciones telúricas” mueve aspectos que van más allá de lo que sugieren literalmente las definiciones –que se acaban de proponer– de sus respectivos núcleos paradigmáticos. Pues la geotradición “vétero-testamentaria” aparece como inspiradora no sólo de un diluvianismo que, en su momento, tuvo innegable fuerza, sino también de toda la tradición de investigación neptunista (en la que la Tierra se veía como un vaso pasivo de precipitados litológicos) así como de toda la corriente degradacionista o direccionalista, según la cual nuestro planeta, en tanto que objeto físico no organizado (“orgánicamente”, se entiende), sigue un proceso determinante de enfriamiento y degradación termodinámica. Por el lado contrario, cabe percibir la vigencia de la otra gran tradición cultural de la Tierra, la “griega”, en todas las concepciones esencialmente dinámicas y autoorganizativas del cuerpo celeste de la humanidad, desde los geovitalismos tan presentes en el Renacimiento (incluida la visión de la Tierra de un Giordano Bruno) y en el movimiento posterior de la Naturphilosophie, hasta –en el campo científico– el georganicismo de un Hutton y de un Lovelock, pasando por el

movilismo continental de un Wegener y por el sistemismo implícito en la tectónica de placas.

Precisamente la ganancia de prestigio experimentada en las últimas décadas por una teoría de Sistemas que ha recibido el valioso refuerzo de la termodinámica de procesos lejos del equilibrio, con sus conocidas consecuencias ontogénicas, posee una gran importancia de cara a la resolución del “pulso” entre macroparadigmas terrestres que acaba de ser expuesto. Todo parece indicar que la dinámica global de la Tierra que se conoce simplificada como “tectónica de placas”, no es otra cosa que una estructuración disipativa que ha desarrollado el planeta en su conjunto, en respuesta a la persistencia de un flujo térmico interno de magnitud considerable, que es en parte residual y en parte de procedencia radiactiva, habiéndosele señalado otras posibles componentes secundarias. La estructura disipativa “geotectónica” viene a dotar de unidad funcional y entitativa al planeta entero, que sería, en consecuencia, “algo más” que un simple agregado de materia que la gravedad mantiene junto.

La *hipótesis Gaia*, cuyos sostenedores –y ante todo su autor, James Lovelock– insisten últimamente en elevar de rango, hasta el estatus de teoría, ha sido considerada largo tiempo como una conjetura científica, pues su defensa de una “Tierra viviente”, globalmente autorreguladora de los parámetros que permiten el florecimiento de la vida, era tenida por incompatible con los presupuestos científicos de no finalidad y economía de explicaciones (que favorece metódicamente la “reducción teórica”). Sin embargo, la concepción sistémica, complementada –y en buena medida justificada– por la termodinámica del no equilibrio, lleva a percibirla de una forma completamente distinta: como una teoría referente a la estructuración disipativa global, de carácter geobiológico, surgida en la Tierra en respuesta al flujo de energía solar que incide sobre ella desde su formación, con tendencia a aumentar en el transcurso de los eones.

Esta teoría conecta de la manera más natural con las preocupaciones ecológicas de una parte creciente de la población, y esto puede explicar el que su recepción social

haya sido tan positiva. La misma no debería ser identificada principalmente con los intentos de apropiación del paradigma gaiano por parte del movimiento cultural actual conocido como *New Age*<sup>1</sup>, sino que se revela mucho más en datos tales como las referencias a la hipótesis Gaia que menudean en los textos de ciencias naturales destinados a los estudiantes de secundaria, o en la identificación de la imagen fotográfica de la Tierra, captada desde el espacio, con “Gaia”, seguida de su conversión en símbolo y bandera del ecologismo. Además, la heurística de Gaia –o, si se quiere, su “contexto de aplicación”– se despliega sobre todo al tratar de definir con claridad los impactos medioambientales globales del desarrollo tecnointustrial, a la hora de perfilar racionalmente lo que se ha llamado (Hans Jonas, entre otros) el *principio de precaución*, opuesto dicotómicamente<sup>2</sup> al principio prometeico de exploración y dominación del mundo natural. El cambio climático en curso, ligado al aumento antrópico de los gases de efecto invernadero, es un tema candente en el que un modelo geofisiológico puede resultar útil, y guiándose por él el autor se atreve a sugerir una segunda posibilidad de modificación atmosférica (la eventual reducción a largo plazo del porcentaje de oxígeno, debida a la sobreutilización continuada de combustibles fósiles), que podría deducirse también del modelo gaiano.

La *concepción sistémica, de raíz termodinámica*, de los dos paradigmas de la Tierra que son el geotectónico y el que representa la hipótesis Gaia, es el hilo conductor que orienta a las conclusiones principales de la tesis. La primera de ellas es una decantación por la concepción de la Tierra como entidad organizada. Pero de inmediato surge la segunda conclusión, adversativa en cierto modo en relación a la anterior: habiendo dos flujos distintos de energía libre que llaman a su disipación, no puede existir una sola estructura disipativa global ontogenética en el “planeta azul”, sino que tiene que haber *dos* necesariamente. Un dualismo ontológico se presenta,

---

<sup>1</sup> Intentos explicables, en parte, por los ecos precristianos presentes en el nombre y en el trasfondo arquetípico de la teoría que comentamos, los cuales son coherentes con el neopaganismo que impregna a la corriente *New Age*.

<sup>2</sup> Lo que relativiza esta oposición, que, en lugar de “absoluta”, es más bien “contradictorio-complementaria” (Edgar Morin).

pues, de entrada, como alternativa prigoginiana al monismo entitativo de Gaia, y al automatismo termostático asimismo único –demasiado simplista, justamente por ignorar a Gaia– de la tectónica de placas.

En el capítulo 6, propongo llamar *Tártaro* al sistema dinámico coherente que se establece en el “objeto Tierra” al dotarse de una dinámica global integradora, a consecuencia de la puesta en funcionamiento de la primera de las dos estructuraciones disipativas mencionadas, a saber, la que surge en respuesta al flujo energético procedente del interior. La razón de tal propuesta es la búsqueda de una coherencia terminológica con el nombre mitológico de *Gaia* que se aplica al “todo telúrico” nacido –asimismo por causas termodinámicas– respondiendo al segundo gran flujo de energía que afecta a la Tierra, el solar.

“Tártaro” y “Gaia” serían, pues, los dos referentes que definirían la fisonomía ontológica del tercer planeta del sistema solar. Ahora bien, la superposición, en un mismo objeto físico, de dos estructuras disipativas, origen de sendos sistemas coherentes, parece imponer una interacción mutua que las coordine de algún modo, o incluso que las integre en orden al nacimiento de una sola Tierra-sistema. Sin embargo, semejante integración no viene dada, y llama a la elaboración de un programa de investigación que se centre en indagar los eventuales vínculos y retroacciones entre la biosfera (que condiciona fuertemente, en todo caso, tanto la atmósfera y la hidrosfera como los procesos sedimentarios) y la dinámica geotectónica.

Por cuanto se acaba de decir, puede concluirse asimismo que la geotectónica global y la teoría de Gaia no son dos visiones de la Tierra incompatibles, no son dos concepciones paradigmáticas mutuamente excluyentes, sino que son, al contrario, perfectamente compatibles, siendo así que se ocupan de dos estructuraciones disipativas distintas que responden a dos flujos de energía asimismo diferentes. Otra cosa es que puedan existir geólogos partidarios de la tectónica de placas, que rechacen –incluso con acritud– la hipótesis de Lovelock. Pero tal cosa constituye un simple dato ideológico y sociológico.

De todo lo anterior se desprende una visión muy concreta de las ciencias de la naturaleza, como disciplinas enfocadas sobre rangos específicos de una ontología general sistémicamente estructurada. Esta apuesta epistemológica presupone otra, filosófico-metafísica realista y no reduccionista, que no está exenta, por lo demás, de problemas. Unos problemas que no se eluden en la tesis, pero que obviamente desbordan su marco.

Partiendo de esta visión de las ciencias, nucleada por un *paradigma sistémico* que cuenta con apoyos tales como von Bertalanffy, Ervin Laszlo, Edgar Morin (que partió de la sistémica para desembocar en su concepción de la complejidad) y, de manera implícita pero muy clara, Ilya Prigogine, creo haber identificado un problema que afecta a la geología desde su origen, un problema que atañe a la definición del nivel sistémico sobre el que dicha ciencia se enfoca, ya que la existencia de un “territorio” en el que se despliegan las leyes de la física, la química y la biología no basta para fundamentar una ciencia general básica. Sin embargo, la presencia de una tradición georganicista que, a la luz de las ideas actuales, cabría rebautizar como “geosistémica”, muestra que siempre ha existido –si bien con fuertes variaciones en cuanto a su grado de aceptación– un sector de estudiosos de la Tierra que compartía la intuición de tener que habérselas con un *objeto organizado*, con un “sistema verdadero” (von Bertalanffy), el cual justificaba plenamente el que se le consagrara una ciencia básica. Hoy, la admisión, desde muy distintas ópticas, de un *sistema Tierra* debería lógicamente conducir al pleno asentamiento de una “geo-logía” renovada, de un discurso racional (*logos*) focalizado sobre el rango sistémico en el que está comprendido *paradigmáticamente* el planeta Tierra.<sup>3</sup>

Señalaré, por último, que al tener que manejar herramientas conceptuales tan dispares aparentemente como la Teoría General de Sistemas y la psicología de la

---

<sup>3</sup> Lo cual supone la apertura de la geología a la *planetología*, o como mínimo una estrecha vinculación entre ambas ciencias.

*Gestalt*, he podido captar con claridad la estrecha relación que existe entre ellas. Se diría que la segunda es casi un “reflejo psicológico” de la primera –cuyo objetivo es poner de relieve determinados rasgos de la estructura general de la realidad– y que por eso se observan “guiños” y complicidades entre la una y la otra.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Sin que falten tampoco referencias explícitas, como las que von Bertalanffy hace de la Gestalt.

## EPÍLOGO

Llegados ya al final de la tesis, considero conveniente añadir unas líneas de explicación de lo que más ha podido sorprender de ella: las preferencias filosóficas que revela, y que guían su desarrollo.

Huelga, a estas alturas, señalar que el basamento de este trabajo no lo suministra la filosofía analítica ni, de un modo más general, lo que algunos denominan la “concepción heredada” neopositivista. Pero es que tampoco tiene nada que ver con la llamada “crítica sociológica de la ciencia”, cuyos dogmas simplistas el autor no comparte. Podría quizá entenderse mi posición como “kuhniana”, y es cierto que considero interesantes y valiosas muchas de las ideas que expresó Kuhn en su obra principal, *La estructura de las revoluciones científicas*, pero no puedo seguirle en las múltiples matizaciones –a mi modo de ver, más empobrecedoras que enriquecedoras– de su etapa posterior, que ni siquiera creo que fuesen totalmente espontáneas.

Entonces, ¿en qué barco aceptaría incluirme? Yo diría que en el de la filosofía sin adjetivos, para, desde él, intentar otear las peculiares costas de la ciencia de la Tierra. Me explicaré. Hace tiempo que me he dado cuenta de que el filosofar es mucho más una actitud –que implica una determinada forma de tensión– que una disciplina. No creo, he de decirlo, en un “método filosófico”, ni tampoco en una clave cognoscitiva única, en una palabra mágica, que abra las puertas de la revelación de la verdad (o de la inexistencia de la verdad). Y para mí, un filósofo digno de tal nombre es todo aquél que vive a fondo, y con plena autenticidad, esa tensión de búsqueda (veritativa necesariamente<sup>5</sup>) que por mucho que se refiera al mundo, a la realidad exterior, tiene

---

<sup>5</sup> Y ello, aunque la única verdad sobre la que se desemboque sea la negación de cualquier verdad.

–de un modo u otro– que afectarle, incluso si pretende quedar aparte. Pues es imposible que el filósofo no experimente la mordedura de su filosofar.

Que no se crea que menosprecio el rigor. Es sin duda sumamente importante. Hay que saber de qué se habla, y de qué base se dispone para aceptar, rechazar o proponer algo. Pero la persecución de un máximo de rigor no puede servir para justificar dejar de lado, o menos aun negar, otros *valores filosóficos* fundamentales: el primero de todos, la capacidad para identificar las cuestiones esenciales, asombrándose literalmente en el instante mismo de producirse esa identificación. Frente al genuino *asombro filosófico*, que acompaña inevitablemente a toda actividad reflexionante autónoma, no creo que puedan gran cosa las descalificaciones del tipo “se trata de un falso problema”, frecuentes viniendo, sobre todo, de quienes no parecen tener especialmente desarrollada esa misma capacidad de asombro.

Cuanto acabo de decir puede, creo, explicar mi apertura –constatable a lo largo de las cuatrocientas páginas precedentes– a ciertas corrientes filosóficas y filósofos individuales que no gozan del máximo aprecio en los salones más concurridos de la filosofía de la ciencia actual. Pienso, por ejemplo, en Henri Bergson y en distintos pensadores francófonos posteriores que no reniegan de él, sino muy al contrario; y también en ese antecedente, en cierto modo, del bergsonismo que constituyen algunos idealistas alemanes, como Schelling, los cuales recogieron unas influencias plotinianas que también se perciben en el filósofo galo.

Mi posicionamiento filosófico es, sin duda, minoritario, pero no me considero aislado. Me hace sentirme en buena compañía Prigogine, que cita elogiosamente a Bergson en repetidas ocasiones. También Edgar Morin, cuando califica a los filósofos románticos de “reserva de complejidad, en el siglo de la gran simplificación”. Y no menos, Hans Jonas, con su defensa del Renacimiento helenizante y neoplatónico de los siglos XV y XVI, que contrapone a la deriva mecanicista de un siglo XVII “en el fondo, mucho más cristiano”. Soy consciente de que lo que está en juego –y a lo que responde, en definitiva, mi posicionamiento– es la grave cuestión de la ruptura (o el



mantenimiento, o la renovación) de la *alianza entre el ser humano y la naturaleza*. Esa naturaleza que la sociedad contemporánea tiende a identificar iconográfica e intuitivamente con el planeta Tierra, sede del proceso de evolución compleja de la materia que ha conducido a su propia emergencia a través del desarrollo de un fenómeno, el de la vida orgánica, que si bien es probable que exista en otros lugares del universo, sólo se conoce, por el momento, en su manifestación terrestre.

Y henos aquí conducidos de nuevo al tema-eje de la tesis: la Tierra. Es, en el fondo, mi propia percepción de la recursividad *humanidad – naturaleza terrestre* el factor determinante del enfoque que he decidido dar a mi trabajo. El lector ya conoce mi asunción del perspectivismo, una posición epistemológica que va de Leibniz a F. Varela y H. Maturana, pasando por Ortega. Ahora bien, de cara a incrementar el conocimiento acerca de nuestro planeta, se pueden adoptar distintas perspectivas inicialmente: una consiste en contemplarlo desde la actitud del *businessman*, que ve un objeto lleno de recursos, al cual interesa conocer para poder explotarlos; otra es la del científico “puro”, que se considera a sí mismo perfectamente desapegado (¿y despegado?) del cuerpo celeste en el que habita, y que hace de ello una condición para su conocimiento; y una tercera parte de verse y sentirse integrado en la Tierra, temporalmente, desde el enraizamiento, y espacialmente, en el entorno global que el planeta proporciona.

Estas tres perspectivas son humanas, y por tanto legítimas. De hecho, el filósofo tiene, en realidad, una cuarta, consistente en planear sobre todas ellas, y tratar de comprender la función epistémica que cada una cumple. Pero aun así es legítimo optar preferencialmente; y por motivos no sólo idiosincrásicos sino también racionales que explicaré a continuación, yo opto –de esta manera matizada – por la tercera de las tres perspectivas que acabo de señalar. Tengo para ello una razón básica: yo mismo soy un ser vivo, en continuidad esencial con la vida orgánica terrestre, que percibo, por añadidura, como un “fenómeno planetario”. Es muy posible que otros se vean de manera diferente: como entes socio-tecnológicos, “post-vivientes”, virtuales, o qué sé yo..., pero lo cierto es que el autor de la presente tesis se

ve a sí mismo, muy primitivamente sin duda, como un ser vivo con un sistema nervioso apenas un poco más complicado que el del felino runroneante con el que comparte apartamento. Y tiene que ser fiel a esa percepción a la hora de adoptar su punto de vista.

Tengo además otras razones. La principal es que los mantenedores de la primera de las perspectivas a que me he referido llevan décadas –o siglos– haciendo estragos que rozan lo indescriptible, bajo la mirada neutra de quienes adoptan, sin matices, la perspectiva citada en segundo lugar. Yo diría, con Edgar Morin, que las perspectivas paradigmáticas no son práxicamente indiferentes, y que la Tierra exige de nosotros un compromiso.

Por otra parte, es dudoso que la perspectiva obtenida desde la *asunción de pertenencia* esté tan viciada epistemológicamente como se suele afirmar. Tendrá desde luego un sesgo. Pero ¿no supone un viciamiento mayor pretender que no se tiene ningún sesgo, cuando sí se tiene y no se es consciente de él? Porque tal es, me parece, el caso de muchos que toman por visión panorámica objetiva lo que no pasa de ser un fotograma preseleccionado. Y el sesgo admitido responde, en todo caso, a la perspectiva natural del ser humano en el universo. Diríamos que al no forzarse el punto de vista, el conocimiento que se obtiene es compatible con el vínculo afectivo. Este valor de compatibilidad, que tanto apreciaba Goethe<sup>6</sup>, no goza del favor de la ciencia actual, pero resulta imposible no remitirse a él cuando el objeto a conocer es justamente este globo nuestro, en el que los primeros astronautas inicialmente, y enseguida la gente de a pie, reconocieron de golpe una palpitante totalidad abarcadora de cuanto significa algo, verdaderamente, para todos y cada uno de los miembros de la especie humana.

---

<sup>6</sup> La intuición goethiana parece apuntar –más allá de una primera lectura “sentimental”– a que tal vínculo es, en sí mismo, una estructura psíquica que cumple importantes funciones integradoras, *ecológicas* por tanto.

## BIBLIOGRAFÍA

### OBRAS

Agazzi, E., *El bien, el mal y la ciencia* (1992), trad. del it. por Ramón Queraltó, Tecnos, Madrid, 1996.

C.C. Albritton Jr. (ed.), *The Fabric of Geology*, Geological Society of America, Freeman, Cooper & Co., Stanford (Ca., EE.UU.), 1963. Trad. esp.: *Filosofía de la Geología*, traducc. de José M. López Rubio, Cía. Editorial Continental, México, 1970.

Anguita, F., “Epílogo: La teoría de Alfred Wegener y la nueva Geología” (1983) en: Wegener, A., *El origen de los continentes y océanos*, ver *infra*.

Anguita, F. & Moreno, F., *Procesos geológicos internos*, Editorial Rueda, Madrid, 1991.

Aristóteles, *Acerca del cielo / Meteorológicos*, traducciones de Miguel Candel, Gredos, Madrid, 1996.

F.J. Ayala & T. Dobzhansky (eds.), *Estudios sobre la filosofía de la biología* (1974), trad. del ingl. por Carlos Pijoán Rotge, Ariel, Barcelona, 1983.

Bachelard, G., *Le nouvel esprit scientifique* (1934), P.U.F., París, 1999.

Bachelard, G., *La terre et les rêveries de la volonté. Essai sur l'imagination de la matière* (1947), José Corti, París, 1996.

Bachelard, G., *La terre et les rêveries du repos. Essai sur les images de l'intimité* (1948), José Corti, París, 1997.

Bacon, Francis, *Instauratio Magna / Novum Organum / Nueva Atlántida*, Francisco Larroyo (ed.), Editorial Porrúa, México, 1975.

de Beaumont, E., *Notices sur les systèmes de montagnes*, P. Bertrand, París, 1852.

Beltrán, A., “Introducción: T.S. Kuhn. De la historia de la ciencia a la filosofía de la ciencia”, en: Kuhn, T.S., *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, ver *infra*.

Bergson, H., *Henri Bergson. Œuvres*, P.U.F., París, 1963.

Bergson, H., *Essai sur les données immédiates de la conscience* (1889), en: *Henri Bergson. Œuvres*, ver *supra*.

Bergson, H., *L'évolution créatrice* (1907), en: *Henri Bergson. Œuvres*, ver *supra*.

Bertalanffy, L. von, *Perspectives on General System Theory*, E. Laszlo (ed.), Georges Braziller, Nueva York, 1975. Trad. esp.: *Perspectivas en la teoría general de sistemas*, traducc. de Antonio Santisteban, Alianza, Madrid, 1992.

Bertalanffy, L. von, “Historia y situación de la teoría general de sistemas” en: G.J. Klir (dir.), *Tendencias en la teoría general de sistemas*, ver *infra*.

Boladeras, M., *Metodologia de la ciència. Materials per a una metateoria de la geologia*, ICE, Universitat de Barcelona, 1982.

Boulangier, N.A., *Les Anecdotes de la Nature* (manuscrito), 1753, Bibliothèque du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, MS 869.

Bradley, W.H., “Leyes geológicas” en: C.C. Albritton, Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, ver *supra*.

Bruno, G., *Sobre el infinito universo y los mundos* (1584), trad. del it. por Angel J. Cappelletti, Aguilar Argentina, Buenos Aires, 1981.

Buffon, *Théorie de la Terre*, París, 1744. Reedic. incl. en: *Buffon. Œuvres philosophiques*, P.U.F., París, 1954.

Buffon, *Les Époques de la Nature* (manuscrito), 1774-1776, Bibliothèque du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, MS 883.

Buffon, *Les Époques de la Nature*, París, 1779. Reedición: J. Roger (ed.), Éditions du Muséum, París, 1988.

Burnet, T., *Telluris Theoria Sacra*, Londres, 1681. Trad. ingl.: *The Sacred Theory of the Earth*, Southern Illinois University Press, 1965.

Cabezas Olmo, E., *La Tierra, un debate interminable. (Una historia de las ideas sobre el origen de la Tierra y el Principio de Uniformidad)*, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2002.

Campbell, D.T., “La causación descendente en los sistemas biológicos jerárquicamente organizados”, en: C.C. Albritton Jr. (ed.), *Estudios sobre la filosofía de la biología*, ver *supra*.

Capra, F., *La trama de la vida* (1996), trad. del ingl. por David Sempau, Anagrama, Barcelona, 1998.

Carey, W., *The expanding Earth*, Elsevier, Nueva York / Amsterdam, 1976.

Cassirer, E., *Filosofía de las formas simbólicas*, 3 vols. (1923-1932), trad. del al. por Armando Morones, Fondo de Cultura Económica, México, 1971-1972.

Collingwood, R.G., *Idea de la Naturaleza* (1945), Fondo de Cultura Económica, México, 1950.

Condie, K.C., *Plate tectonics and crustal evolution*, Pergamon, Nueva York, 1982.

Copérnico, N., *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* (1543), Carlos Mínguez & Mercedes Testal (eds.), Editora Nacional, Madrid, 1982.

Cuvier, *Discours sur les révolutions de la surface du globe* (1815), Librairie de Firmin Didot, París, 1877.

D'Espagnat, B., *En busca de lo real. La visión de un físico* (1981), Alianza, Madrid, 1983.

Dana, J.D., *The Geological Story Briefly Told*, Ivison, Blakeman & Taylor (eds.), Nueva York, 1875.

Dartigues, A., *Qu'est-ce que la phénoménologie*, E. Privat, Toulouse, 1972.

Dauvillier, A., *Genèse, nature et évolution des planètes*, Hermann, París, 1947.

De Maillet, B., *Telliamed, ou Entretiens d'un philosophe indien avec un missionnaire français sur la diminution de la mer, la formation de la terre et l'origine de l'homme*, París, 1748. Reedición: Fayard, París, 1984.

De Rosnay, J., *L'homme symbiotique*, Le Seuil, París, 1995.

Delsemme, A., *Les origines cosmiques de la vie*, Flammarion, París, 1994.

Deparis, V. & Legros, H., *Voyage à l'intérieur de la Terre*, CNRS Éditions, París, 2000.

Derrey, F., *La Terre, cette inconnue*, L'Encyclopédie Planète, París, 1964.

Descartes, R., *Discours de la Méthode* (1637), Garnier-Flammarion, París, 1966.

Descartes, R., *Principia Philosophiæ*, París, 1644. Trad. esp.: *Los principios de la Filosofía*, traducc. de Guillermo Quintás, Alianza Editorial, Madrid, 1995.

Devaux, P., *Préface* en Whitehead, A.N., *La fonction de la raison et autres essais*, Payot, París, 1969.

Dietz, R.S. & Holden, J.C., "La disgregación de la pangea" en: T. Wilson (ed.), *Deriva Continental y Tectónica de Placas*, ver *infra*.

Du Toit, A.L., *Our wandering continents*, Oliver & Boyd, Edimburgo, 1937.

Duhem, P., *La théorie physique, son objet, sa structure* (1906), Vrin, París, 1981.

Durand, G., *Les structures anthropologiques de l'imaginaire* (1969), Dunod, París, 1990.

Durand, G., *Introduction à la mythodologie*, Albin Michel, París, 1996.

- Echeverría, J., *Filosofía de la ciencia*, Akal, Madrid, 1995.
- Echeverría, J., *Ciencia y valores*, Destino, Barcelona, 2002.
- Einstein, A., *Notas autobiográficas*, Alianza Editorial, Madrid, 1992.
- Eliade, M., *Tratado de Historia de las Religiones* (1949), trad. del fr. por A. Madinaveitia, Instituto de Estudios Políticos, Madrid, 1954.
- Eliade, M., *El mito del eterno retorno. Arquetipos y repetición* (1951), trad. del fr. por Ricardo Anaya, Planeta-Agostini, Barcelona, 1984.
- Eliade, M., *Imágenes y Símbolos* (1952), trad. del fr. por Carmen Castro, Taurus, Madrid, 1955.
- Ellemerger, F., *Histoire de la géologie*, 2 vols., Tec & Doc – Lavoisier, París, 1988 / 1994.
- M. H. Engel & S.A. Macko (eds.), *Organic Geochemistry*, Plenum Press, Nueva York, 1993.
- von Engelhardt, W. & Zimmermann, J., *Theory of Earth Science* (1982), trad. del al. al ingl. por Lenore Fischer, Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK), 1988.
- Espinosa Rubio, L., *Spinoza: Naturaleza y Ecosistema*, Publicaciones de la Universidad Pontificia de Salamanca, Salamanca, 1995.
- Ezquerro del Bayo, J., trad., *Elementos de Geología de Charles Lyell, con adición para los terrenos de España* (1847); reedic. (facsimil): Sociedad Geológica de España, Madrid, 1998.
- Feyerabend, P.K., *Against Method*, NLB, Londres, 1975. Trad. esp.: *Tratado contra el método*, traducc. de Diego Ribes, Tecnos, Madrid, 1986.
- Feyerabend, P.K., *La ciencia en una sociedad libre* (1978), trad. del inglés por Alberto Elena, Siglo XXI, Madrid, 1982.

Feyerabend, P.K., *Ambigüedad y armonía* (1996), trad. del italiano por Antonio Beltrán & José Romo, Paidós / U.A.B., Barcelona, 1999.

Fischer, O., *Physics of the Earth's Crust*, Macmillan, Londres, 1881.

Freeman J. Dyson, *Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) / Nueva York, 1999. Trad. esp.: *Los orígenes de la vida*, traducc. de Ana Grandal, Cambridge Univ. Press, 1999.

Fronzizi, R., *¿Qué son los valores?: introducción a la axiología*, Fondo de Cultura Económica, México, 1982.

Füchsel, G.C., *Historia terræ et maris, ex historia Thuringiæ*, Rudolstadt, 1761.

Galileo Galilei, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolomaico y copernicano* (1632), A. Beltrán (ed. y trad.), Alianza, Madrid, 1994.

García Molina, V. & Aguilera, J.A., *...y la Tierra palpitó. El origen de la vida*, Hermann Blume, Madrid, 1985.

Gautier, H., *Nouvelles Conjectures sur le globe de la Terre*, París, 1721.

Geikie, A., *The Founders of Geology*, Macmillan, Nueva York, 1897; reedic.: Dover, Nueva York, 1962.

von Goethe, J.W., *Conversaciones con Eckermann*, en: *Goethe. Obras completas*, t. II, trad. de Rafael Cansinos Assens, Aguilar, Madrid, 1987.

von Goethe, J.W., *Goethe y la ciencia*, J. Naydler (ed.), trad. del inglés por Carlos Fortea & Esther de Arpe, Siruela, Madrid, 2002.

Gohau, G., *Une histoire de la géologie*, Le Seuil, París, 1990.

Gould, S.J., *Time's Arrow. Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*, Harvard University Press, 1987. Trad. esp.: *La flecha del tiempo*, traducc. de Carlos Acero Sanz, Alianza, Madrid, 1992.

Granell, M., *Introducción*, en: Ortega y Gasset, J., *El tema de nuestro tiempo*, ver *infra*.



- Guerra, M. J., *Breve introducción a la ética ecológica*, Antonio Machado Libros, Madrid, 2001.
- Guerrero, R., “Presentación”, en: Lovelock, J.E., *Las edades de Gaia*, ver *infra*.
- Guerrero, R., “Epílogo: de Microcosmos a Gaia”, en: Margulis, L. & Sagan, D., *Microcosmos*, ver *infra*.
- Guntau, M., *Abraham Gottlob Werner*, B.S.B. Teubner, Leipzig, 1984.
- Gusdorf, G., *Fondements du savoir romantique*, Payot, París, 1982.
- Gusdorf, G., *Le savoir romantique de la Nature*, Payot, París, 1985.
- Hagner, A.F., “Aspectos filosóficos de las ciencias geológicas” en: C.C. Albritton Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, ver *supra*.
- Hallam, A., *Great Geological Controversies*, Oxford University Press, 1983. Trad. esp.: *Grandes controversias geológicas*, traducc. de J.M. Fontboté & Montserrat Rubio, Labor, Barcelona, 1985.
- Hallam, A., *A Revolution in the Earth Sciences. From Continental Drift to Plate Tectonics*, Oxford University Press, 1973. Trad. esp.: *De la deriva continental a la tectónica de placas*, traducc. de Carlos Peralta, Labor, Barcelona, 1989.
- Hempel, C.G., *Filosofía de la Ciencia Natural* (1966), trad. del ingl. por Alfredo Deaño, Alianza Editorial, Madrid, 1976.
- Hersch, J., *L'étonnement philosophique* (1981), Gallimard, París, 1993.
- Hesíodo, *Teogonía*, trad. de Luis Segala y Estalella, Teorema / Visión Libros, Barcelona, 1986.
- Hess, H.H., “History of oceans basins” en E.A.J. Engel (ed.), *Petrological studies*, Geological Society of America, Boulder (Colorado, EE.UU), 1962.
- Holmes, A., *Principles of Physical Geology*, Th. Nelson & Sons, Londres, 1965.

Holmes, A., *Geología física* (1978), trad. del ingl. por Montserrat Domingo, Omega, Barcelona, 1980.

Holland, H.D., "Early Proterozoic atmospheric change" en: S. Bengtson (ed.), *Early Life on Earth*, Nobel Symposium, 84, Columbia Univ. Press, N. York, 1994.

Holton, G., *Scientific Imagination*, Harvard University Press, 1998. Trad. esp.: *La imaginación científica*, Fondo de Cultura Económica, México / Madrid, 1999.

Hooykaas, R., *The principle of uniformity in geology, biology and theology*, Leiden, 1963.

Hulot, N., Barbault, R. & Bourg, D., *Pour que la Terre reste humaine*, Le Seuil, París, 1999.

Humboldt, A., *Cosmos: ensayo de una descripción física del mundo* (1845), 4 vols., trad. de Bernardo Giner & José de Fuentes, Imprenta de Gaspar y Roig, Madrid, 1874-1875.

Hutton, J., *Theory of the Earth, or an Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution and Restoration of Land upon the Globe*, Royal Society of Edinburgh, Edimburgo, 1788. Reedid. (facsimil): G.W. White (ed.), Hafner, Nueva York, 1970.

Hutton, J., *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*, 2 vols., Edimburgo, 1795. Reedid. (facsimil): H.R. Engelmann *et al.* (eds.), Hafner, Nueva York, 1959.

Jamme, C., *Introducción a la filosofía del mito en la época moderna y contemporánea* (1991), trad. del al. por Wolfgang J. Wegscheider, Paidós, Barcelona / Buenos Aires, 1999.

Jankélévitch, V., *Henri Bergson* (1959), P.U.F., París, 1959.

Jantz, N., *Ernst Cassirer: ¿une épistémologie de la troisième voie?* (tesis doctoral), Faculté des Lettres de l'Université de Lausanne, Lausana, 1999.

Jaspers, K., *Introduction à la philosophie* (1965), trad. del al. al fr. por Jeanne Hersch, Union Générale d'Éditions, París, 1977.

Joly, J., *The Surface-History of the Earth*, Clarendon Press, Oxford, 1925.

Jonas, H., *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica* (1979), trad. del al. por Javier M<sup>a</sup> Fernández Retenaga, Herder, Barcelona, 1995.

Jonas, H., *El principio vida* (1994), trad. del al. por José Mardomingo, Trotta, Madrid, 2000.

Joseph, L.E., *Gaia: The Growth of an Idea*, St. Martin's Press, Nueva York, 1990. Trad. esp.: *Gaia, la Tierra viviente*, traducc. de Renato Valenzuela, Cuatro Vientos, Santiago de Chile, 1992.

Jung, C.G. et al., *El hombre y sus símbolos* (1964), trad. del inglés por Luis Escolar Bareño, Luis de Caralt, Barcelona, 1984.

Kant, I., *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, 1755; reedic. (facsimil): H. Fischer Verlag, Erlangen, 1988.

Kant, I., *Crítica de la razón pura* (1781), trad. de Pedro de Ribas, Alfaguara, Madrid, 1986.

Kasting, J.F., "Evolution of the Earth's Atmosphere and Hydrosphere: Hadean to Recent" en: AA.VV., *Organic Geochemistry*, ver *supra*.

Katz, D., *Psicología de la Forma (Gestaltpsychologie)*, Espasa-Calpe, Madrid, 1967.

Kepler, J., *Epitome Astronomiæ Copernicanæ* (1621); trad. fr.: *Abregé d'astronomie copernicienne*, Librairie A. Blanchard, París, 1988.

Kircher, A., *Mundus Subterraneus* (1665), Waesberge et fil., Amsterdam, 1678.

G.J. Klir (dir.), *Tendencias de la teoría general de sistemas*, trad. del ingl. por Alvaro Delgado & Andrés Ortega, Alianza Editorial, Madrid, 1978.

Köhler, W., *Psicología de la Forma*, Introd. de Carroll C. Pratt, Biblioteca Nueva, Madrid, 1972.

Koyré, A., *Pensar la ciencia*, trad. del fr. por Antonio Beltrán, Paidós/UAB, Barcelona, 1994.

Koyré, A., *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Gallimard, París, 1973.

Kuhn, T.S., *The Structure of Scientific Revolutions* (1962), University of Chicago Press, Chicago, 1970. Trad. esp.: *La estructura de las revoluciones científicas*, traducc. de Agustín Contin, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.

Kuhn, T.S., *La tensión esencial* (1977), trad. de Roberto Helier, Fondo de Cultura Económica, México, 1993.

Kuhn, T.S., *Second Thoughts on Paradigms*, The University of Illinois Press, Urbana (EE.UU.). Trad. esp.: *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, traducc. de Diego Ribes, Tecnos, Madrid, 1978.

Kuhn, T.S., *Commensurability, Comparability, Communicability*, The Philosophy of Science Association, East Lansing (Michigan), 1983. Trad. esp.: “Comensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad”, traducc. de José Romo Feito, en: Kuhn, T.S., *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Paidós / UAB, Barcelona, 1996.

Kuhn, T.S., *What are Scientific Revolutions?*, M.I.T. Press, Cambridge (Mass., EE.UU.), 1987. Trad. esp.: “¿Qué son las revoluciones científicas?”, traducc. de José Romo Feito, en: Kuhn, T.S., *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Paidós / UAB, Barcelona, 1996.

Kurten, B., “Deriva continental y evolución” (1969) en: T. Wilson (ed.), *Deriva continental y tectónica de placas*, ver *infra*.

Laín Entralgo, P., *¿Qué es el hombre?*, Ediciones Nobel, Oviedo, 1999.

Lakatos, I., *La crítica y la metodología de programas científicos de investigación* (1968), trad. del ingl. por José Manuel Alcañiz, Teorema, Inst. de Lógica y Metodología, Univ. de Valencia, 1981.

Laszlo, E., *Evolution. The Grand Synthesis*, Shambhala, Boston / Londres, 1987. Trad. esp.: *Evolución: la gran síntesis*, traducc. de Eloy Fuente, Espasa-Calpe, Madrid, 1988.

Laudan, L., *El progreso y sus problemas: hacia una teoría del crecimiento científico* (1977), trad. del ingl. por Javier López Tapia, Encuentro, Madrid, 1986.

Laudan, R., *From mineralogy to geology. The foundations of a science, 1650-1830* (1987), The University of Chicago Press, Chicago, 1993.

Lehmann, J.G., *Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebürgen*, Berlín, 1756.

Leibniz, G.W., *Summi polyhistoris Godefridi Guilielmi Leibnitii Protogæa* (1691 ó 1692), Ch. L. Scheidt (ed.), Göttingen, 1749; trad. fr. de Bertrand de Saint-Germain, *Protogée ou de la formation et des révolutions du globe, par Leibniz*, Langlois, París, 1859.

Leibniz, G.W., *Nouveaux Essais sur l'Entendement Humain* (1703), Garnier-Flammarion, París, 1966.

Leibniz, G.W., *Essais de Théodicée*, en *Opera Philosophica* (1710), Scientia Aalen, Meisenheim / Glan, 1959.

Leibniz, G.W., *Monadología* (1714), trad. de Manuel García Morente, Facultad de Filosofía, UCM, Madrid, 1994.

Lenoble, R., *Esquisse d'une histoire de l'idée de nature*, Albin Michel, París, 1969.

Lovelock, J.E., *Gaia. A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Londres, 1979. Trad. esp.: *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, traducc. de Alberto Jiménez Rioja, Hermann Blume, Madrid, 1983.

Lovelock, J.E., *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*, Norton, Nueva York, 1988. Trad. esp.: *Las edades de Gaia*, traducc. de Joan Grimalt, Tusquets, Barcelona, 1993.

Lovelock, J.E., *Gaia. Una ciencia para curar el planeta* (1991), trad. del ingl. por Jimmy Clark & Begoña Orive, Integral, Barcelona, 1992.

Lovelock, J.E. et al., *Gaia. Implicaciones de la nueva biología* (1987), W.I. Thompson (ed.), Kairós, Barcelona, 1989.

Lyell, Ch., *Principles of Geology*, 3 vols., 1ª ed.: John Murray Publ., Londres, 1830-1833. Reedición (facsimilar): M.J.S. Rudwick (ed.), The University of Chicago Press, Chicago, 1990.

Mandelbrot, B., *Los objetos fractales: forma, azar y dimensión*, Tusquets, Barcelona, 1987.

Mardones, J.M., *El retorno del mito. La racionalidad mito-simbólica*, Síntesis, Madrid, 2000.

Margulis, L. & Sagan, D., *Microcosmos. Four Billions Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*, Summit Books, Nueva York, 1986. Trad. esp.: *Microcosmos*, traducción de Mercè Piqueras, Tusquets, Barcelona, 1995.

Margulis, L. & Sagan, D., *What is Life?*, Nevraumont, Nueva York, 1995; trad. esp.: *¿Qué es la vida?*, traducción de Ambrosio García, Tusquets, Barcelona, 1996.

McIntyre, D.B., “James Hutton y la filosofía de la geología” en: C.C. Albritton Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, ver *supra*.

McKelvey, V.E., “La Geología como el estudio de experimentos naturales complejos” en: C.C. Albritton Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, ver *supra*.

Meadows, D. et al., *Los límites del crecimiento* (1972), Fondo de Cultura Económica, México, 1972.

Meadows, D. et al., *Más allá de los límites del crecimiento* (1991), El País / Aguilar, Madrid, 1992.

Monod, J., *Le hasard et la nécessité* (1970), France Loisirs, París, 1989.

Morin, E., *La Méthode*, t. 1 (*La Nature de la Nature*) (1977), Le Seuil, col. Points Essais, París, 1981.

Morin, E., *La Méthode*, t. 2 (*La Vie de la Vie*) (1980), Le Seuil, col. Points Essais, París, 1985.

Morin, E., *La Méthode*, t. 3 (*La Connaissance de la Connaissance*) (1986), Le Seuil, col. Points Essais, París, 1992.

Morin, E., *La Méthode*, t. 4 (*Les idées*) (1991), Le Seuil, col. Points Essais, París, 1995.

Morin, E., *Science avec conscience*, Fayard, París, 1982.

Moro, L., *De crostacei e degli altri marini corpi che si trovano su'monti*, 2 vols., Venecia, 1740.

Mossé-Bastide, R.-M., *Bergson et Plotin*, P.U.F., París, 1959.

Mulkay, M., "El crecimiento cultural de la ciencia" (1972) en: Barnes, B. *et al.*, *Estudios sobre sociología de la ciencia*, trad. del ingl. por Néstor A. Míguez, Alianza, Madrid, 1980.

M. P. Murphy & L.A.J. O'Neill (ed.), *La biología del futuro. "¿Qué es la vida?" cincuenta años después* (1995), trad. del ingl. por Ambrosio García Leal, Tusquets, Barcelona, 1999.

N. Myers (ed.), *Gaia: an Atlas of Planet Management*, Gaia Books, Anchor Press, Londres / Nueva York, 1984.

Needham, J.T., *Nouvelles recherches physiques et métaphysiques sur la nature et la religion, avec une nouvelle Théorie de la Terre et une mesure de la hauteur des Alpes*, París / Londres, 1769.

Olivé, L., *El bien, el mal y la razón*, Paidós, Buenos Aires / México / Madrid, 2000.

Omnès, R., *Filosofía de la ciencia contemporánea* (1994), trad. del fr. por Anna Mas, Idea Books, Madrid, 2000.

Oparin, A.I., *El origen de la vida* (1924), trad. de Luis González, Editores Mexicanos Unidos, 1978.

Oreskes, N., *The Rejection of Continental Drift*, Oxford University Press, Oxford / Nueva York, 1999.

N. Oreskes (ed.), *Plate Tectonics. An Insiders' History of the Modern Theory of the Earth*, Westview Press, EE.UU., 2002.

Ortega y Gasset, J., *Origen y epílogo de la filosofía* (1929), Espasa-Calpe, col. Austral, 1980.

Ortega y Gasset, J., *El tema de nuestro tiempo* (1938), Espasa-Calpe, col. Austral, 1995.

Ortega y Gasset, J., *Ideas y creencias* (1940), Alianza Editorial / Revista de Occidente, Madrid, 1997.

Otto, R., *Das Heilige*, Klotz, Gotha, 1923. Trad. fr.: *Le Sacré*, traducc. de André Jundt, Payot, París, 2001.

Ovidio, *Metamorfosis*, trad. de A. Ruiz de Elvira, CSIC, Madrid, 1983.

Pauli, W., *Writings on Physics and Philosophy*, C.P. Enz & K. von Meyenn (eds.), Springer Verlag, Berlín, 1994. Trad. esp.: *Escritos sobre física y filosofía*, traducc. de Mercedes García & Rodolfo Hernández, Debate, Madrid, 1996.

Platón, *Fedón*, traducc. de Carlos García Gual, Gredos, Madrid, 1986.

Platón, *Timeo*, traducc. de Francisco Lisi, Gredos, Madrid, 1992.

Playfair, J., *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*, Edimburgo, 1802. Trad. fr.: *Explication de Playfair sur la Théorie de la Terre par Hutton*, traducc. y notas de Basset, Bossange & Masson, París, 1815.

Plotino, *Enéadas III-IV*, traducc. de Jesús Igal, Gredos, Madrid, 1985.

Plotino, *Enéadas V-VI*, traducc. de Jesús Igal, Gredos, Madrid, 1998.

Popper, K., *La lógica de la investigación científica* (1934), traducc. de Víctor Sánchez de Zavala, Tecnos, Madrid, 1967.

Popper, K., *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, Londres, 1963. Trad. esp.: *Conjeturas y refutaciones*, traducc. de Néstor Míguez, Paidós, Buenos Aires, 1965.

Popper, K., , *Post scriptum a "La lógica de la investigación científica"*, vol. 1 (*Realismo y el objetivo de la ciencia*) (1956, 1980), W.W. Bartley III (ed.), trad. del ingl. por Marta Sansigre, Tecnos, Madrid, 1985.



Popper, K., *Post scriptum a “La lógica de la investigación científica”*, vol. 3 (*Teoría cuántica y el cisma en Física*) (1982), W.W. Bartley III (ed.), trad. del ingl. por Marta Sansigre, Tecnos, Madrid, 1985.

Pozzo, R., *El giro kantiano*, trad. de Jorge Pérez de Tudela, Akal, Madrid, 1998.

Prigogine, I. *La fin des certitudes*, Odile Jacob, París, 1996. Trad. esp.: *El fin de las certidumbres*, traducc. de Pierre Jacomet, Taurus, Madrid, 1997.

Prigogine, I. & Nicolis, G., *La estructura de lo complejo* (1987), trad. del fr. por A. Klein, Alianza, Madrid, 1997.

Prigogine, I. & Stengers, I., *La nouvelle alliance*, Gallimard, París, 1979 / 1986. Trad. esp.: *La nueva alianza*, traducc. de Manuel García Velarde, Alianza Editorial, Madrid, 1990.

Putnam, H., *Reason, Truth and History*, Cambridge University Press, Londres, 1981. Trad. esp.: *Razón, verdad e historia*, traducc. de José Miguel Esteban Cloquell, Tecnos, Madrid, 1988.

Queraltó, R., *Naturaleza y finalidad en Aristóteles*, Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1983.

Quine, W.V., *La búsqueda de la verdad* (1990), trad. del ingl. por Javier Rodríguez Alcázar, Crítica, Barcelona, 1992.

Rampino, M.R., “Gaia versus Shiva: Cosmic effects of the longterm evolution of the terrestrial biosphere” en: S.H. Schneider & P.J. Boston (eds.), *Scientists on Gaia*, ver *infra*.

Rescher, N., *Los límites de la ciencia* (1984), trad. del ingl. por Leonardo Rodríguez Duplá, Tecnos, Madrid, 1994.

Ricœur, P., *La métaphore vive*, Le Seuil, París, 1975.

Rioja, A., *Etapas en la concepción del espacio físico* (tesis doctoral), Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense, Madrid, 1984.

Rioja A. & Ordóñez, J., *Teorías del universo*, 2 vols., Síntesis, Madrid, 1999.

Rudwick, M.J.S., “Uniformity and progression: Reflections on the structure of geological theory in the age of Lyell” en: D.H.D. Roller (ed.), *Perspectives in the History of Science and Technology*, Norman, University of Oklahoma Press, 1971.

Ruse, M., *La filosofía de la biología* (1973), trad. del ingl. por Ignacio Cabrera Calvo-Sotelo, Alianza, Madrid, 1979.

Saumells, R., “Introducción” en: Queraltó, R., *Naturaleza y finalidad en Aristóteles*, ver *supra*.

Sawkins, F.J. *et al.*, *The evolving earth*, Macmillan, Nueva York, 1974.

Sertillanges, A.D., *Avec Bergson*, Gallimard, París, 1941.

Scheidegger, *Principles of Geodynamics*, Springer Verlag, Berlín, 1958.

Schelling, F.W., *Idées pour une philosophie de la Nature* (1797) / *L'âme du monde* (1798) / *Introduction à la première esquisse d'un système de la philosophie de la Nature* (1799), trad. del al. al fr. por S. Jankélévitch, Aubier, París, 1946.

Schelling, F.W., *Philosophie der Mythologie* (1856). Trad. fr.: *Introduction à la philosophie de la mythologie*, traducc. de S. Jankélévitch, Aubier, París, 1946.

Schidlowsky, M., “The Initiation of Biological Processes on Earth. Summary of Empirical Evidence” en: Engel, M.H. & Macko, S.A. (eds.), *Organic Geochemistry*, ver *supra*.

Schlick, M., *Filosofía de la Naturaleza* (1949), trad. del ingl. por José Luis González Recio, Encuentro, Madrid, 2002.

S.H. Schneider & P.J. Boston (eds.), *Scientists on Gaia*, M.I.T. Press, Cambridge (Mass., EE.UU.), 1991.

Schneider, E.D. & Kay J.J., “Orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología” (1995), en: M.P. Murphy & L.A.J. O’Neil (eds.), *La biología del futuro*, ver *supra*.

Schrödinger, E., *What is Life?*, Cambridge University Press, Cambridge, 1944. Trad. esp.: *¿Qué es la vida?*, traducc. de Ricard Guerrero, Tusquets, Barcelona, 1984.

Schrödinger, E., *Mente y materia* (1958), trad. del ingl. por Jorge Wagensberg, Tusquets, Barcelona, 1985.

Serres, M., *Le Contrat Naturel*, Flammarion, París, 1992.

Sheldrake, R., *El renacimiento de la Naturaleza* (1991), trad. del ingl. por Jorge Piatigorsky, Paidós, Barcelona / Buenos Aires, 1994.

Solís, C., “Introducción: Alexandre Koyré y la historia de la ciencia”, en: Koyré A., *Pensar la ciencia*, ver *supra*.

Stacey, D.S., *Physics of the Earth*, Brookfield Press, Queensland, 1992.

Stanley Miller, L., “The Prebiotic Synthesis of Organic Compounds on the Early Earth” en: Engel, M.H. & Macko, S.A. (eds.), *Organic Geochemistry*, ver *supra*.

Steno, N., *De solido intrasolidum naturaliter contento prodromus*, Florencia, 1669. Trad. ingl.: *The Prodromus of Nicolaus Steno's Dissertation*, Hafner, Nueva York, 1963.

Suess, E., *La faz de la Tierra*, 4 vols. (1883-1909), trad. del al. por P. de Novo & F. Chicharro, Ramona Velasco, Madrid, 1923-1930.

Teeter Dobbs, B.J., *Les fondements de l'Alchimie de Newton, ou "La chasse au lion vert"*, Guy Trédaniel, París, 1981.

Teilhard de Chardin, P., *L'avenir de l'homme*, Le Seuil, París, 1959. Trad. esp.: *El porvenir del hombre*, traducc. de Carmen Castro, Taurus, Madrid, 1962.

Thom, R., *Stabilité structurelle et morphogenèse*, Ediscience, París, 1973.

Thom, R., *Parabole e catastrofi. Intervista su matematica, scienza e filosofia*, Giulio Giorello & Simona Morini (eds.), Il Saggiatore, Milán, 1980. Trad. esp.: *Parábolas y catástrofes*, traducc. de Manuel Escrivá de Romaní, Tusquets, Barcelona, 1985.

Thorpe, W.H., “El reduccionismo en la biología” en: AA.VV., *Estudios sobre la filosofía de la biología*, ver *supra*.

Vernant, J.-P., *Genèse du monde, naissance des dieux, royauté céleste* (1981), en: *Hésiode. Théogonie*, Rivages, París, 1993, pp. 7-34.

Volk, Tyler, *Gaia's Body*, Springer-Verlag / Copernicus, Nueva York, 1998. Trad. esp.: *Gaia toma cuerpo. Fundamentos para una fisiología de la Tierra*, traducc. de Eva Barreno & Marisa Barreno, Cátedra, Madrid, 2000.

Voltaire, *Micromégas. Histoire philosophique* (1752), en: Voltaire, *Romans et contes*, R. Pomeau (ed.), Garnier-Flammarion, París, 1966, pp. 131-147.

Wagensberg, J., *Ideas sobre la complejidad del mundo*, Tusquets, Barcelona, 1985.

Wegener, A., *El origen de los continentes y océanos* (1915), trad. (de la 4ª edic., 1929) por Francisco Anguita & J.C. Herguera, Pirámide, Madrid, 1983.

Werner, A.G., *Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebürgsarten*, Praga, 1786.

Westbroek, P., *Life as a Geological Force*, Norton, Nueva York, 1992.

Westbroek, P., *Vive la Terre!*, versión francesa (traductor: Nicolas Witkowsky) de la obra anterior, considerablemente modificada por el autor, Le Seuil, París, 1998.

Whiston, W., *A New Theory of the Earth*, Londres, 1696. Reedición: Arno Press, Nueva York, 1978.

Whitehead, A.N., *Function of Reason* (1929). Trad. esp.: *La función de la razón*, Tecnos, Madrid, 1985.

Whitehead, A.N., *Process and Reality* (1929), The Free Press, MacMillan, Nueva York, 1969.

Whitehead, A.N., *Nature and Life* (1934), Greenwood Press, Nueva York, 1977.

Wigner, E., *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, Bloomington, 1967.

T. Wilson (ed.), *Continents adrift*, W.H. Freeman & Co., San Francisco / Londres, 1972. Trad. esp.: *Deriva Continental y Tectónica de Placas*, traducc. de Carlos Martín Escorza & Alfonso González Ubanell, Hermann Blume, Madrid, 1974.

Wilson, T., “Prefacio” en: T. Wilson (ed.), *Deriva Continental y Tectónica de Placas*, ver *supra*.

Wilson, T., “Deriva continental” en: T. Wilson (ed.), *Deriva Continental y Tectónica de Placas*, ver *supra*.

Woodcock A. & Monte Davis, *Teoría de las catástrofes*, trad. del ingl. por Marta Sansigre, Cátedra, Madrid, 1986.

Woodward, J., *An Essay towards the Natural History of the Earth*, Londres, 1695.

ANÓNIMO, *El Génesis*, versión castellana de Casiodoro de Reina & Cipriano de Valera, Sociedad Bíblica, Londres, 1957.

## ARTÍCULOS (revistas y enciclopedias)

Anderson, D.L., “The Earth as a planet: Paradigms and paradoxes”, *Science*, 223, 1984, pp. 347-355.

Andler, D., “Gödel (Kurt)” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus 10, pp. 549-551.

Anguita, F., “La evolución de la Tectónica de Placas: el nuevo interior de la Tierra”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1996 (3.3), pp. 137-148.

Anguita, F., “Adiós a la astenósfera”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2002 (10.2), 134-143.

Anguita, F. & Arsuaga, J.L., “¿Es Gaia una teoría adelantada a su tiempo o una broma vitalista?”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2000 (8.3), pp. 197-201.

Anguita, F. *et al.*, “El extraño campo magnético de Marte”, *Mundo científico*, 232, 2002, pp. 38-43.

Appenzeller, T., “Searching for clues to Ancient Carbon Dioxide”, *Science*, 259, 1993, pp. 908-909.

Aubouin, J., “Tectonique des plaques”, en *Encyclopædia Universalis*, Corpus 22, pp.151-160

Balibar, F., “Énergie” en D. Lecourt, *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 342-347.

Barrell, J., “The strength of the Earth’s crust”, *Journal of Geology*, 22, 1914, partes I a VI.

de Beaumont, E., “Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe”, *Annales des sciences naturelles*, 18-19, 1829, París.

Bertaux, P., “Goethe” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 10, pp. 551-554.

Bjornerud, M.G., “Live universe”, *Nature*, 385, 1997, p. 109.

Bony, E., “Un serment pour Gaïa”, *Science Frontières*, 60, février 2001.

Bull, A.J., “A hypothesis of mountain building”, *Geological Magazine*, 58, 1921.

Bull, A.J., “Some aspects of the mountain building problem”, *Proceedings of the Geologist’s Ass.*, 38, 1927, pp. 145-146.

Catling, D.C. *et al.*, “Biogenic Methane, Hydrogen Escape, and the Irreversible Oxidation of Early Earth”, *Science*, 293, 2001, 839-843.

Chamberlin, T.C., “The method of multiple working hypotheses”, *Journal of Geology*, 5, 1897, pp. 837-848.

Chenciner, A., “Systèmes dynamiques différentiables” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 21, pp. 1044-1080.

Corretgé, L.G., “En las entrañas del postmodernismo: las crisis de las ciencias geológicas”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2000 (8.2), pp. 119-129.

Culotta, E., “Climate Change: Is the Geological Past a Key to the (Near) Future?”, *Science*, 259, 1993, pp. 906-908.

Dagognet, F., “Nature (Système de la)” en D. Lecourt. (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 671-674.

Dana, J.D., “The continents always continents”, *Nature*, 23, 1881, p. 410.

Darwin, Ch., “On the physical causes of the oceans basins”, *Nature*, 25, 1882, pp. 234-244.

Davies, G.F., “On the emergence of plate tectonics”, *Geology*, 20, 1992, Boulder, pp. 963-966.

Deparis, V., “Courant de convection” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 256-259.

Deparis, V., “Dérive des continents” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 295-298.

Deparis, V., “Tectonique des plaques” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 918-921.

Deparis, V., “Terre” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 929-934.

Dietz, R.S., “Continent and ocean evolution by spreading of the sea floor”, *Nature*, 190, 1961, pp. 854-857.

Doolittle, W., “Is Gaia really motherly?”, *Co-evolution Quarterly*, spring 1981, pp. 158-163.

Dziewonsky & Jeanloz, “Planet within a planet: rotation of the inner core of the Earth”, *Nature*, 274, 1996, pp. 1883-1887.

- Elena, A., “¿Revoluciones en geología? De Lyell a la Tectónica de placas”, *Arbor*, CSIC, 486, 1986, pp. 9-45.
- Ellemerger, F., “La théorie de la Terre d’Henri Gautier”, *Histoire et Nature*, VII, 1975, y IX, X, 1977.
- Frankel, H., “Arthur Holmes and continental drift”, *British Journal of the History of Science*, 11, 1978, pp. 130-150.
- Frankel, H., “From continental drift to plate tectonics”, *Nature*, 335, 1988, pp. 127-130. Trad. esp.: “De la deriva de los continentes a la tectónica de placas”, traducc. de C. M. García Cruz, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1996 (3.3), pp. 130-136.
- Frapolli, M.L., “Réflexion sur la nature et sur l’application du caractère géologique”, *Bull. de la Soc. Géol. de Fr.*, t. IV, 1846-1847, pp. 610-611.
- Gapenne, O. & Rovira, K., “Gestalt Psychologie et cognition sans langage”, *Intellectica (Revue de l’Association pour la Recherche Cognitive)*, 28, 1999/1, París, pp. 229-250.
- García Cruz, C.M., “El principio de Uniformidad”; I. “Orígenes”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1998 (6.3), pp. 234-238; II. “Un obstáculo epistemológico entre el pasado y el presente”, 1999 (7.1), pp. 16-20; III. “El presente: una aproximación al neocatastrofismo”, 2000 (8.2), pp. 99-107.
- García Cruz, C.M., “La edad de la Tierra y otras cosas por el estilo”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1999 (7.2), pp. 94-101.
- García Cruz, C.M., “Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2001 (9.3), pp. 222-234.
- García Velarde, M., & Normand, C., “Convection”, *Scientific American*, 243, 1, 1980, pp. 92-108.
- Gaudant, J., “Fossile” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 429-434.
- Gillon, J., “Feedback on Gaia”, *Nature*, 406, 2000, pp. 685.



Gohau, G., “Actualisme ou Uniformitarisme” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 18-21.

Gohau, G., “Orogenèse” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 714-716.

González Recio, J.L., “Galileo y Kant reencontrados. Ciencia y filosofía en los orígenes de la biología molecular”, *Thémata*, 20, 1998, pp. 141-148.

Griggs, D.T., “A theory of mountain-building”, *American Journal of Science*, 237, 1939, pp. 611-650.

Guéry, F., “Nature” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 667-671.

Halley, E., “An Account of the cause of the Change of the Variation of the Magnetical Needle”, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 1693, pp. 563-578.

Haug, E., “Les géosynclinaux et les aires continentales”, *Bulletin de la Société géologique de France*, 3<sup>e</sup> série, 28, 1900, p. 633.

Herrick, R.R., “Resurfacing history of Venus”, *Geology*, 22, 1994, pp. 703-706.

Hirt, G. & Kohlstedt, D.L., “Water in the oceanic upper mantle: implications for rheology, melt extraction and the evolution of the lithosphere”, *Earth Planet. Sci. Letters*, 144, 1996, pp. 93-108.

Holmes, A., “Radioactivity and the Earth's Thermal History”, *Geological Magazine*, 62, 1925, pp. 504-544.

Holmes, A., “Radioactivity and continental drift”, *Geological Magazine*, 65, 1928, pp. 236-238.

Holmes, A., “Radioactivity and Earth movements”, *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 18, 1929, pp. 559-606.

Hunten, D.M., “Atmospheric Evolution of the Terrestrial Planets”, *Science*, 259, 1993, pp. 915-920.

Innerarity, D., “El idealismo alemán como mitología de la razón”, *Pensamiento*, 185, vol. 47, 1991, CESI, Madrid, pp. 37-78.

Irwin, L.N. & Schulze-Makuch, D., “Assessing the Plausibility of Life on Other Worlds”, *Astrobiology*, 1, N. 2, 2001, pp.143-160.

Kelvin, Lord, “The age of the Earth as an abode fitted for life”, *Science*, 9, 1899, pp. 665-673 y 704-711.

Kasting, J.F., “Earth’s Early Atmosphere”, *Science*, 259, 1993, pp. 920-926.

Kasting, J.F., “The Rise of Atmospheric Oxygen”, *Science*, 293, 2001, pp. 819-820.

Koyré, A., “Galileo and Plato”, *Journal of the History of Ideas*, 4, 1943, pp. 400-428.

Lamotte, M. *et al.*, “Écologie” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 7, pp. 861-875.

Lamotte, M. & Duvigneaud, P., “Biosphère” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 4, pp. 193-195.

Larrère, C. & Larrère, R., “Environnement” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 360-363.

Laske, G. & Masters, G., “Limits of differential rotation of the inner core from an analysis of the Earth’s free oscillations”, *Nature*, 402, 1999, pp. 66-69.

Le Guyader, H., “Catastrophisme” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 137-142.

Le Moigne, J.L., “Complexité” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 205-215.

Le Moigne, J.L., “Système” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 900-909.

Lecourt, D., “Énergétisme” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 341-342.

Lecourt, D., “Vitalisme et mécanisme” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 986-989.

Lecourt, D., “Wegener” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 997-998.

Lenton, T.M., “Gaia and natural selection”, *Nature*, 394, 1998, pp. 439-447.

Lovelock, J.E., “Gaia as seen through the atmosphere”, *Atmospheric Environment*, 6, 1972, pp. 579-580.

Lovelock, J.E. & Kump, L.R., “Failure of climate regulation in a geophysiological model”, *Nature*, 369, 1994, pp. 732-734.

Martin Pickford, “Earth Expansion, Plate Tectonics and Gaia’s Pulse”, *Bull. Mus. Nation. D’Hist. Nat.*, París, 4<sup>e</sup> série, 18, 1996, sec. C, 2-3, pp. 451-516.

Meinesz, V., “Major tectonic phenomena and the hypothesis of convection currents in the Earth”, *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 103, 1948, pp. 191-207.

Molino, J., “Sémiologie et Formes Symboliques” en A. Jacob (dir.), *Encyclopédie Philosophique Universelle*, IV, pp. 2061-2070.

Murphy, B. & Nance, D., “Las cordilleras de plegamiento y el ciclo supercontinental”, *Investigación y Ciencia*, 189, 1992, pp. 22-30.

Nimmo, F. & Stevenson, D.J., “Influence of early plate tectonics on the thermal evolution and magnetic field of Mars”, *Journal of Geophysical Research*, 105, 2000, pp. 11969.

Pascual Trillo, J.A., “Una teoría de la Tierra y una teoría del medioambiente”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2000 (8.3), pp. 184-188.

Pearson, P.N. & Palmer, M.R., “Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years”, *Nature*, 406, 2000, pp. 695-699.

Ramade, F., “Écosphère”, *Encyclopædia Universalis*, Supplément (1), 1996, pp. 607-611.

Rayleigh, Lord, “On the distribution of radium in the Earth’s crust, and on the Earth’s internal heat”, *Proc. Roy. Soc, London*, A77, 1906, pp. 472-485.

Rème, H., “Marte, ¿vestigios de una tectónica?”, *Mundo científico*, 206, 1999, pp. 26-29.

Renault, E., “Naturphilosophie” en D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d’histoire et philosophie des sciences*, pp. 674-680.

Rojero, F.F., “¿Una asignatura sistémica o sistemática?”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2000 (8.3), pp. 189-196.

Rudnick, R.L., “Making continental crust”, *Nature*, 378, 1995, pp. 571-578.

San Miguel de Pablos, J.L., “La perspectiva de la unificación de las ciencias de la Tierra”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1997 (5.3), 190-194.

Schellnhuber, H.J., “Earth System analysis and the second Copernican Revolution”, *Nature*, 402, 1999, C19-C23.

Sequeiros, L., “Popper y Kukn: 20 años después”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 2001 (9.1), pp. 2-12.

Sequeiros, L., “Las cosmovisiones científicas o *macroparadigmas*: su impacto en la enseñanza de las ciencias de la Tierra”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 2002 (10.1), pp. 17-25.

Sequeiros, L. & Pedrinaci, E., “De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock”, *Enseñanza de las CC. de la Tierra*, 1999 (7.3), pp. 187-193.

Stevenson, D.J., “Mars’ core and magnetism”, *Nature*, 412, 2001, pp. 214-219.

Thinès, G., “Gestaltisme” en *Encyclopædia Universalis*, Corpus, 10, pp. 434-439.

Tomkeieff, S.I., “James Hutton and the Philosophy of Geology”, *Proceed. (B) Royal Soc. Edinburgh*, vol. LXIII, 1948, pp. 387-400.

Vernadsky, V.I., "The biosphere and the noosphere", *American Scientists*, 33, 1945, pp. 1-12.

Vine, F.J. & Matthews, D.H., "Magnetic anomalies over oceanic ridges", *Nature*, 199, 1963, pp. 947-949.

Walker, J.C.G., "Earth System science and the western worldview", *Chemical Geology*, 161, 1999, pp. 365-371.

Weaver, W., "Science and Complexity", *American Scientist*, 36, 1948, pp. 536-544.

Westbroek, P., "¿Es la Tierra un superorganismo?" (entrevistador: Hervé Kempf), *Mundo Científico*, 178, 1997, pp. 378-379.

Westbroek, P., "Gaia's Body: Towards a Physiology of Earth", *Nature*, 391, 1998, pp. 550-551.

Westbroek, P., "Gaia and the weak forces of life", *Gaia Circular*, 3, Issues 1-2, 2000, pp. 10-15.

Wilson, T., "Dérive des continents", *Encyclopædia Universalis*, Corpus 7, pp. 202-207.

Wilson, T., "Some consequences of expansion of the Earth", *Nature*, 185, 1960, pp. 880-882.

Wilson, T., "A new class of faults and their bearing on continental drift", *Nature*, 207, 1965, pp. 343-347.

Wilson, T. (1968), "Revolución en las ciencias de la Tierra" en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1993 (1.2), pp. 72-79. (Traducido de la versión francesa -original, junto con la inglesa- por Montserrat Domingo).

Wunenburger, J.J., "La philosophie et l'iconographie" en A. Jacob (dir.), *Encyclopédie Philosophique Universelle*, IV, pp. 2372-2384.

## ENCICLOPEDIAS

Ferrater Mora, J., *Diccionario de Filosofía*, 4 vols., Ariel, Barcelona, 1994.

T. Honderich (ed.), *Enciclopedia Oxford de Filosofía*, trad. del ingl. por Carmen García Trevijano, Tecnos, Madrid, 2001

A. Jacob (dir.), *Encyclopédie Philosophique Universelle*, 6 vols., P.U.F., París, 1998.

D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, P.U.F., París, 1999.

*Enciclopedia Universal Ilustrada* (Obra Completa), Espasa-Calpe, Madrid, 1991.

*Encyclopædia Universalis*, 32 vols., Enc. Universalis - France, S.A., París, 1990 y 1996.

*The New Encyclopædia Britannica*, 20 vols., Enc. Brit. Inc., Londres, 1994.