

# La tierra, paradigma de la naturaleza

## La aproximación al medio planetario a través de la historia

### Resumen

La concepción que el ser humano ha tenido históricamente de su medio vital, de su planeta, ha sido diversa y ha experimentado cambios espectaculares hasta muy recientemente. En opinión del autor, el modo de percibir y concebir la Tierra refleja la disposición de la civilización a mantener con ella uno u otro tipo de relación, desde el momento que el planeta de la humanidad representa para esta una síntesis de la idea de Naturaleza. Este es el mensaje de fondo del presente artículo y de su continuación en una segunda parte prevista. Esta primera parte se abre con la constatación de que la mencionada síntesis fue, de algún modo, vivenciada (aunque no de forma plenamente consciente) hará pronto medio siglo, cuando la humanidad vio por primera vez a la Tierra desde el espacio, percibiéndola como una esfera de rara belleza. Se pasa, a continuación, revista a las concepciones históricas de nuestro planeta, incluso desde antes de que fuese reconocido como tal, desde los mitos fundacionales de Occidente, en los que se detectan dos tendencias contrapuestas, hasta la época de la Ilustración, en que la geología científica nació polarizada en dos escuelas rivales: la neptunista y la plutonista.

José Luis San Miguel de Pablos Geógrafo y doctor en Filosofía

## 1. La ciencia de la Tierra, encrucijada epistemológica

### 1.1. El singular objeto Tierra

La visión global del planeta, camino de la Luna, a finales de la década de los sesenta, fue un evento importante. Porque aquella experiencia no la vivieron sólo los astronautas del *Apolo*. Para el conjunto de la humanidad lo que eclosionó cuando la Tierra fue percibida por primera vez en su unidad real, fue un *símbolo colectivo*. La imagen fotográfica de la Tierra, obtenida durante el programa de exploración lunar, fue captada como un símbolo de la Naturaleza viva, como un símbolo de fuerza extraordinaria. Veinte años antes, en 1948, Alfred Hoyle, célebre astrónomo británico, había dicho: “Cuando por fin contemplemos la Tierra desde el espacio exterior, cambiará nuestra relación con ella”. Y es un hecho que desde aquella experiencia, habida en 1968-69, nuestra relación intelectual y afectiva con nuestra morada cósmica ha experimentado un cierto cambio.

Como *visión de conjunto* en sentido literal, que removía estratos profundos del psiquismo humano, la experiencia *imaginal* de finales de los sesenta fue “no analítica”. Diríamos incluso que se trató de una experiencia poética colectiva. Y es

José Luis San Miguel de Pablos

que el planeta Tierra ocupa un nicho intelectual y afectivo sumamente especial... Culturalmente, está situado “allí donde se cruzan los caminos” de las tradiciones científica y romántica. En mi opinión, ese peculiar posicionamiento está en la base del *excepcionalismo* que ha sido postulado para la geología al compararla con las demás ciencias de la naturaleza. Algunos filósofos de la ciencia han destacado unas diferencias acusadas, persistentes en el tiempo, entre las actitudes epistemológicas de los cultivadores de las “ciencias duras” (físicos sobre todo), por un lado, y los geólogos, por otro. Se ha hablado 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 de objetos, pero este tipo de excepcionalidad está siendo superado debido a la redefinición en curso de la geología, que pasa a ser entendida como “la ciencia de los planetas de tipo terrestre” (*geología planetaria*). No obstante, dicha generalización es todavía imperfecta, dada la singularidad constatada del “objeto Tierra” en el sistema solar.

La débil presencia histórica de las matemáticas en el edificio disciplinar de la geología es otro aspecto de la “excepcionalidad geológica”. Los grandes procesos geológicos no son matematizables, o si acaso lo son sólo —e imperfectamente— unos modelos idealizados que la realidad desborda. Y lo que se impone entonces como alternativa es la *imagen* —mejor, dinámica—, la “gestaltización” de las concepciones geológicas. Es lo que señala, por ejemplo, W. H. Bradley (1970) 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”.

El excepcionalismo de la geología aparece por tanto ligado a la dificultad de adaptar la investigación y las concepciones geológicas al modelo único de ciencia que supuestamente suministra la física. Lo que está realmente en juego es la tensión entre una visión estrictamente monista de la ciencia y otra pluralista.

Un punto de vista que puede chocar pero que no por ello es menos defendible es que los conceptos de medio ambiente y ecología, junto con las sensibilidades que potencian, no son ni “modernos” ni tampoco —como se ha sugerido— “posmodernos”. Es en la tradición romántica, tanto europea como norteamericana, donde

claramente se enmarcan dichos conceptos y sensibilidades. Y diríamos más: al tender a asociarse con las nuevas Ciencias del Medio Ambiente, la geología no se normaliza como *tecnociencia* al uso, sino que más bien retorna a su *lugar natural*, que es el estudio en profundidad de Gea, el sistema cósmico que dio nacimiento a la vida y a la humanidad, y que presidió su despliegue evolutivo.

## 1.2. Heterodoxias metodológicas

Como lo que aquí nos interesa es la Tierra en su conjunto, hemos de preguntarnos cuál es el origen de la aproximación a su conocimiento. La respuesta es que la geología global se enraiza en las especulaciones cosmológicas arcaicas. Para los antiguos griegos, la Tierra y el Cielo formaban un mundo concéntrico único, de modo que aunque las dos regiones poseyeran propiedades distintas, la indagación sobre la Tierra y cuanto en ella hay formaba parte de la cosmología, aunque la Tierra fuese la parte menos noble del cosmos. Se podría pensar que la unificación galileano-newtoniana de las leyes del mundo físico reforzaría el carácter cosmológico del estudio de la Tierra, y en efecto así fue. Precisamente por eso, las *teorías de la Tierra* fueron consideradas “filosofía geológica”, y no sólo en los siglos XVII y XVIII sino hasta bien entrado el XX<sup>1</sup>.

Durante largo tiempo existió la idea de que la imaginación era más bien negativa en la investigación científica. Los *inductivistas puros* defendían la conveniencia de evitar cuidadosamente todo tipo de conjeturas, y limitarse a recolectar datos, con la esperanza de que éstos finalmente revelarían la verdad “por sí mismos”. Hoy nadie sostiene ya esta concepción, cuya insuficiencia se ha hecho evidente en los últimos cien años.

Una “propiedad” de la Tierra es mover intensamente la imaginación de la gente. Y su inmediatez física no aminora esa potencia inspiradora: análogamente a como “se conoce” a alguien cercano, “pero no totalmente”, la Tierra –nuestro medio vital– ha estado siempre aquí, en todo momento la hemos estado pisando, pero nunca se ha dejado conocer del todo. Ahí reside el desafío, típicamente *raciovital*, que han de aceptar quienes se enfocan sobre ella.

<sup>1</sup> Desde el centramiento en la geología de pequeña y mediana escala, se calificaba con frecuencia (sobre todo en los Estados Unidos) de “filosofía geológica” a la sensibilidad investigadora centrada en elaborar hipótesis globales acerca de la Tierra. *Vid.* Oreskes (1999).

Y es así 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 extravían el análisis racional. Pero como personas que habían elegido precisamente la Tierra como objeto de estudio, les resultaba imposible renegar de esa facultad. ¿No escribió Bradley (1970), destacado científico americano de la Tierra, que “un geólogo sin imaginación es tan poco eficiente como un ánade que carezca de membranas en sus patas”?

Ahora bien, si la imaginación se ha revelado imprescindible para aproximarse a entender la Tierra, si ni siquiera se ha cuestionado su papel ni se la ha desvalorizado como sí se ha hecho en otros contextos disciplinarios, habrá habido al menos que *regularla*. Contar con unos *principios reguladores*<sup>2</sup> de la imaginación –de una imaginación cuya fertilidad se percibía como algo bueno– llegó a ser, pues, esencial para el geólogo.

El *principio de economía*, la famosa “navaja de Ockham”, es el primero de tales principios. Propone que conocida una causa explicativa, 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 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 analógicos.

Históricamente, la forma principal que ha adoptado el principio de economía en la aproximación científica a la Tierra, es la del *principio de uniformidad*, el así llamado *uniformitarismo*. Éste, avanzado –sin nombrarlo todavía– por Hutton<sup>3</sup> recogiendo una clara inspiración aristotélica, fue formulado, dándole casi categoría de “ley”, por Charles Lyell en sus célebres *Principles of Geology*.<sup>4</sup> El subtítulo: “An Attempt to Explain the Former Changes of the Earth’s Surface by Reference to Causes Now in Operation”, constituye toda una definición de este supuesto principio fundamental de la geología.

<sup>2</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, sec. 8ª.

<sup>3</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>4</sup> Reedición en facsímil: University of Chicago Press (1990).

El *uniformitarismo metodológico* es la versión más débil del principio de uniformidad. En esta primera acepción coincide 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 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>5</sup> (*uniformidad de procesos*, o *actualismo*). Parece 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 suficiente 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 que exijan prescindir de él*.

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 sustantivo*, de acuerdo al cual la naturaleza terrestre se comporta del siguiente modo:

1. Los procesos que afectan al planeta en su totalidad son siempre graduales. Las catástrofes sólo 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 de la Tierra. Estos sólo pueden ser cíclicos.

Resulta evidente que se pasa aquí de una *metodología* a una *dogmática*. Y sin embargo, el uniformitarismo sustantivo de Lyell encerraba una intuición en buena medida válida: que la Tierra se mantiene en un estado estacionario (*steady state*), con degradación térmica escasa. Cierto que Lyell exageraba el alcance de dicho estado, pero actualmente podemos apreciar que esta afirmación no se aparta mucho de lo que ahora sabemos.

<sup>5</sup> Frase que suele atribuirse erróneamente a Lyell, y que es debida en realidad a Archibald Geikie (*The Founders of Geology*, 1897).

### 1.3. La Tierra, un laboratorio de tiempo

Vamos a enfocarnos sobre un tema clave al tratar de la Tierra: el protagonismo del tiempo. De todos es sabido que el nacimiento de la geología científica coincide con el reconocimiento por los investigadores de la Tierra que su objeto de estudio tenía que tener una antigüedad incalculable. Lo más sorprendente es que no se trataba de una idea nueva: filósofos antiguos, como Aristóteles (para quien no sólo los astros dan testimonio de la eternidad del mundo, sino que esta se vislumbra también en las regiones terrestres<sup>6</sup>) y los anónimos fundadores de la cultura hindú<sup>7</sup>, ya lo tenían por cierto. Esta concepción estaba, no obstante, clamorosamente ausente de la tradición bíblica, con su mundo de apenas unos pocos milenios. Por qué, ya en los albores mismos de la civilización, unos percibieron el “tiempo profundo”, y otros no, es difícil saberlo, pero se puede avanzar una idea: la percepción que, de la naturaleza, han tenido los diferentes pueblos no ha sido la misma. Está, en primer lugar, la geografía física: no es igual habitar en un lugar marcado por la presencia imponente de altas montañas y de profundos desfiladeros que dejan ver largas secuencias de estratos<sup>8</sup>, que vivir en una región semidesértica sin grandes accidentes. La naturaleza no “se expresa” igual en todas partes. Existen, por otra parte, rasgos idiosincrásicos que diferencian las distintas tradiciones culturales. Si una de ellas está muy enfocada en la genealogía del grupo étnico con 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 se despliega esa genealogía. Otras actitudes menos etnocéntricas pueden, por el contrario, generar cosmovisiones muy diferentes, en las que se abra paso la sospecha de que la edad del mundo es inmensa.

En cualquier caso, la sólida convicción a la que llegaron pronto los geólogos de campo, de que la edad de la Tierra desafía nuestra imaginación, muestra que la inducción como camino epistémico está claramente contextualizada, porque no todos los *mensajes empíricos* que nos transmite la naturaleza poseen idéntica expresividad. Es posible, e incluso probable, que el laboratorio real, el mismo que permite medir las magnitudes de los parámetros físicos por el procedimiento de aislarlos, tenga como efecto indeseado reducir la “expresividad” de la naturaleza, al descontextualizar –o lo que es igual, desnaturalizar– los factores sometidos a estudio<sup>9</sup>. La vinculación de la geología con las escalas temporales gigantescas

<sup>6</sup> Ver Aristóteles: *Del cielo y Meteorológicos*.

<sup>7</sup> Pues la tradición hindú hace referencia a ciclos terrestres y cósmicos de miles de millones de años.

<sup>8</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.

<sup>9</sup> Era lo que pensaba Goethe.

aparece como un auténtico *hecho fundador* de la ciencia 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 quedado como un criterio retrospectivo para estimar su grado de cientificidad (y, de hecho, se constata que los programas de investigación promovidos por las escuelas que negaban el “tiempo profundo”, resultaron fallidos<sup>10</sup>). Pero no se trata sólo (con ser esto de la mayor importancia) de la definitiva constatación de que los procesos geológicos han invertido cantidades inmensas de tiempo en desplegarse. Se trata también de que ese mismo tiempo es un factor *necesario* para que muchos de tales procesos puedan llevarse a cabo. Era lo que intuían los *uniformitaristas*, encabezados por Hutton y Lyell, ilustres padres de la geología, cuando decían que ni la elevación de las montañas ni la excavación de los más profundos cañones, precisaban de la ocurrencia de grandes catástrofes, sino sólo de tiempo. 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 de manera satisfactoria*. Es el caso de las lentas corrientes de convección del manto terrestre, que causan el desplazamiento de las placas tectónicas.

## 2. Del mito a la teoría, y de la teoría a la imagen

### 2.1. Mitos telúricos y teorías de la Tierra

Mucho antes de iniciar cualquier forma de reflexión crítica –fuera ésta filosófica o científica– el hombre intentaba ya entender su medio vital. Instalado “desde siempre” en el vivir, en el vivenciar, actividad primaria que precede al pensar, el primitivo homínido debió distinguir muy pronto su propio cuerpo, sede fenoménica de su identidad, 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. El despliegue poético de esa remota clasificación experiencial del medio dio origen a mitologías centradas en el origen y la constitución del mundo. Las más conocidas entre nosotros son el relato bíblico del *Génesis*, y la *Teogonía* griega de Hesíodo.

<sup>10</sup> Así ocurrió, por ejemplo, con el de la escuela neptunista.

José Luis San Miguel de Pablos

Es curioso observar que estas dos influyentes mitologías de Occidente contienen dos visiones contrapuestas de la Tierra. El *Génesis*, y en general el mono-teísta 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 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>11</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 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.

Estas dos antiguas concepciones míticas de la Tierra son, a mi modo de ver, el sustrato remoto de dos tradiciones geológicas. Esta afirmación, de apariencia osada, no sorprendería seguramente a 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 (*vid.* Popper, 1965). 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 (Hallam, 1985).

Volviendo a los orígenes del pensamiento occidental, diremos que el mito griego de Gaia, asumido –en su finalismo esencial– por Aristóteles, refleja la metafísica pan-vitalista y pan-psiquista que tan presente estaba en la Antigüedad clásica y que se resume perfectamente en la imagen paradigmática del *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*

<sup>11</sup> Hesíodo, *Teogonía* 116-123.



(¿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 plenamente 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 dio a conocer la suya.

## 2. 2. Visiones de la Edad Clásica

El mito hesiódico de una Tierra (*Gea*) 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 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 aC), 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, que asumía, en consecuencia, la condición de planeta. Nicolás Copérnico se refirió a este extraño modelo antiguo para dejar constancia de que no era el único en afirmar que la Tierra no ocupa el centro del universo.

Es admirable, por lo demás, la intuición de Anaximandro (siglo VI aC) de que la Tierra no precisa de soporte material alguno para flotar en el espacio, ya que en el seno de éste, y para ella, ninguna dirección está privilegiada. La “equivalencia” o “indiferencia direccional” (*homoióteta*) basta para mantenerla en su posición, aunque sorprendentemente este filósofo jónico creía en una Tierra cilíndrica con dos superficies planas opuestas habitadas. Platón (427-347 aC) asume, en el *Fedón*, la concepción de una Tierra esférica que flota sin apoyarse en ninguna parte, poniendo en boca de Sócrates las siguientes palabras:

José Luis San Miguel de Pablos

“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>12</sup>.

Aristóteles (384-322 aC), como es bien sabido, sí que privilegiaba ciertas direcciones, las orientadas a los “lugares naturales” de los cuatro elementos terrenales<sup>13</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 de Anaximandro quedaba preservada.

Y de este bajo mundo –de lo que hoy sabemos que es el *planeta Tierra*<sup>14</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 del 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 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 nos 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 humedecidos por el mar y los ríos, ni tampoco siempre secos<sup>15</sup>.

<sup>12</sup> Platón, *Fedón* 108e-109a.

<sup>13</sup> El fuego, el aire, el agua y la tierra. Pero existía un quinto elemento, el celeste “éter” del que estaban formados los astros. *Vid.* Rioja y Ordóñez (1999).

<sup>14</sup> Y no sólo lo sabemos... Lo tenemos tan profundamente interiorizado que nos cuesta mucho trabajo entender que la Tierra haya podido ser vista alguna vez como otra cosa distinta.

<sup>15</sup> Aristóteles, *Meteorológicos*, I, 14.

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, que tiene pleno sentido hablar de una geología aristotélica.

También en los *Meteorológicos*<sup>16</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, aun siendo autónoma, se identifica con las entrañas de Gaia<sup>17</sup>). Platón sostiene en el *Fedón*<sup>18</sup> que el oscuro Tártaro y no el mar es el gran depósito de las aguas, por lo que se halla en el origen de todos los ríos y lagos, así como del océano mismo. Esas “aguas inferiores” habían de reaparecer veinte siglos más tarde en los modelos telúricos de Burnet, Whiston y Woodward.

No mucho tiempo después de Aristóteles, Aristarco de Samos (310-230 aC) propuso en Alejandría la primera hipótesis inequívocamente heliocéntrica, según la cual la Tierra era un planeta, que orbitaba en torno al Sol y que poseía además movimiento de rotación. Las razones aducidas por este predecesor de Copérnico no lograron convencer a sus contemporáneos, para quienes la Tierra no podía ser en modo alguno un  *cuerpo celeste*, siendo como es el reino de lo corruptible<sup>19</sup>.

Trescientos años después de Aristarco, el también alejandrino Claudio Ptolomeo (100 dC-170 dC) sistematizó la concepción geocéntrica del mundo, según la cual el globo terráqueo no es en modo alguno un planeta. Y esa fue la visión que imperó durante un milenio y medio.

### 2.3. La Tierra en el Antiguo Testamento

Ya se han esbozado los rasgos de la concepción de la Tierra que está implícita en la tradición cultural que parte del *Antiguo Testamento*, rasgos que se resumen en la imagen de una “Tierra-escenario”. Releyendo los primeros versículos del *Génesis*, llama poderosamente la atención el panorama cosmogónico que presentan. Se

<sup>16</sup> *Ibid.*, II, 2, 356a-356-b.

<sup>17</sup> Hesíodo, *Teogonía*.

<sup>18</sup> Platón, *Fedón*, 112a-113c.

<sup>19</sup> *ibid.*

José Luis San Miguel de Pablos

suele decir que la creación comienza el Primer Día con el *Fiat Lux*, pero en realidad no es así: está la creación *previa* del Cielo y la Tierra.<sup>20</sup> Sólo que *después no hacen nada*: meros espacios, se limitan a permanecer a la espera de que se despliegue en ellos la creación “propia y debidamente dicha”.

En lo que se refiere a la narración del Diluvio –imposible de obviar en el momento de pasar revista a los grandes mitos de la Tierra– conviene subrayar que no es exclusivamente hebrea, puesto que posee antecedentes mesopotámicos (*Gilgamesh*) y tampoco es extraña a los mitos griegos (el *diluvio de Deucalión*, al que aluden Platón<sup>21</sup>, Aristóteles<sup>22</sup> y Ovidio<sup>23</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.

Numerosos fueron los filósofos cristianos que se propusieron “demostrar” el Diluvio. Pusieron manos a la obra en el siglo IV y siguieron empeñados en ello hasta el siglo XIX. De todos modos, en ese larguísimo período hubo diferentes fases, unas más marcadas por el afán de encontrar apoyos empíricos de aquel relato convertido en dogma, y otras en las que predominaron especulaciones generales sobre la Tierra poco o nada 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 la Baja Edad Media, dejados atrás los “siglos oscuros” (VI-XI), la especulación filosófico-geológica volvió con fuerza, prolongándose hasta el Renacimiento; que el “geo-biblistismo” regresó –a veces en curiosa combinación con visiones heterodoxas– en el siglo XVII; y que se mantuvo –cada vez más enfrentado a las reflexiones laicas sobre la Tierra que se orientaban al nacimiento de la geología científica– a lo largo del XVIII. Tanto este siglo como el XIX enmarcan una áspera confrontación entre geo-biblistas de diferentes confesiones cristianas y nuevos científicos de la Tierra.

<sup>20</sup> “En el principio creó Dios los Cielos y la Tierra”. *Génesis*, I-1.

<sup>21</sup> Platón, *Timeo* 22b.

<sup>22</sup> Aristóteles, *Meteorológicos* 352a, 32-35.

<sup>23</sup> Ovidio, *Metamorfosis* I, 260-348.

## 2.4. La revolución copernicana y sus consecuencias para la percepción de la Tierra

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” coincide con la Tierra, en tanto que *lugar natural* del elemento del mismo nombre, cuyas propiedades son opuestas a lo leve y lo ígneo. En el seno de la Tierra no podía, por tanto, haber 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 a la consolidación del heliocentrismo para ser 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 más que una derivación del reposicionamiento que se le atribuía. Se diría, incluso, que más de cuatro siglos después todavía afloran consecuencias de esa primera 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 punto atañe la posibilidad, *totalmente nueva*, de estudiar la Tierra con independencia del resto del universo, y no teniendo que considerar al mismo tiempo todas las esferas cósmicas que, según las antiguas ideas, 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 finalmente también a los de la mayoría. La pregunta ‘¿hay otras Tierras?’ pasó a estar en el aire... tras haber aparecido en los escritos de Giordano Bruno, que tan caro le costaron diez años antes de que Galileo descubriera las montañas de la Luna<sup>24</sup>. La primera novela (satírica) en la 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 aquí los primeros “visitantes del espacio”: un habitante de Saturno y otro de un planeta del sistema de Sirio.

<sup>24</sup> Vid. Bruno (1981). Giordano Bruno fue quemado en la hoguera por la Inquisición en febrero de 1600. Galileo dirigió por primera vez su telescopio hacia la Luna en enero de 1610.

### 3. “Pensamiento visual” en el origen de la ciencia de la Tierra

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 simple planeta, de nuevo los ojos de los filósofos de la naturaleza se volvieron hacia ella, pues aunque no fuese el centro del universo, no dejaba de ser nuestro hogar. Y vino el siglo de las *teorías de la Tierra*, marcado por una extraordinaria proliferación de imágenes mediante las cuales se trataba de tener una visión sintética, aunque 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 como tal en la época en que tales modelos eran concebidos.

La necesidad humana de “imágenes del mundo” se pone de manifiesto del modo más evidente, y con literalidad insólita, en la explosión de *visiones de la Tierra* que se produjo en los siglos XVII y XVIII. Esa impresionante proliferación iconográfica con finalidad descriptiva fue un fruto casi incontaminado de la facultad imaginativa de unos cuantos espíritus inquietos que, contando con muy pocos datos, se movían impulsados por la pasión de concebir, de ceñir *gestálticamente*, el mundo natural, 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 siempre habían sido entendidas como integrantes de un mundo superior perfecto, sino de centrarse en el sustrato físico del mundo en el que se despliega la totalidad de la experiencia y de la historia de la humanidad, un mundo (“el mundo”) en cierto modo intermedio entre la vida y las leyes que ordenan el cosmos<sup>25</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. 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 realidad global. Entre los primeros elaboradores de modelos telúricos en la “Edad Moderna” se encuentran personalidades de la talla de Kepler, Galileo, Descartes y Leibniz. Casi todos ellos se ocuparon tanto de la *forma* como de la *génesis* del globo terráqueo. Kepler rompió, además, abiertamente con la

<sup>25</sup> Recordemos la expresión “Geocosmos” utilizada por Kircher.

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”. Pero, sobre todo, Kepler (1988) creía necesario explicar físicamente la forma esférica de la Tierra, no pudiendo satisfacerle –pese a su conocida valoración de la tradición 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 *atracción* aunque sin ley conocida) bastaba para explicar causalmente dicha forma, *a condición de que originariamente el planeta se encontrase en un estado fluido* que podía, por lo demás, ser “ígneo” o “acuoso”. En este razonamiento encuentra Kepler una prueba (hoy sabemos que plenamente válida) tanto de la no-eternidad de la Tierra como de sus necesarios *comienzos formativos*, puesto que una creación sobrenatural instantánea, al negar todo proceso gradual, reduciría la “explicación” de la forma esférica terrestre al cumplimiento de un deseo caprichoso del creador.

Galileo, que conjeturó sobre todo acerca de la *sustancia* constitutiva de la Tierra, dice en su *Diálogo* de 1632 que no hay por qué considerar menos noble la Tierra que los cuerpos celestes, siendo la Tierra uno de ellos; y añade que la materia del interior de nuestro planeta es sin duda de naturaleza magnética puesto que actúa sobre la brújula. Galileo propone, de hecho, un modelo de la Tierra muy concreto: el del *planeta-imán*.

Al autor del *Discurso del Método* y de las *Cogitaciones* 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. Radialmente, del fuego central a la superficie rocosa, el enfriamiento ha generado, según Descartes, una diferenciación en capas concéntricas (*Los principios de la filosofía*).

Leibniz también tocó el tema del origen de la Tierra. Destaca un texto titulado *Protogæa* que escribió entre 1690 y 1693, pero que no fue publicado 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:

José Luis San Miguel de Pablos

“(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 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”.

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 magmático.

Pasemos revista ahora a una selección de los modelos de la Tierra que se sintetizan en una imagen estática (lo que no significa que sean “estáticos”, ya que esto último presupone negar toda dinámica). Uno de ellos es el del jesuita de tendencia heterodoxa Athanasius Kircher.

Si el “fuego central” de Descartes es un mero residuo del pasado, sin actividad en el *presente*, en este otro modelo dicho fuego ya no es tan pasivo. En su *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. Esos canales alcanzan la superficie en algunos puntos, formando 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”.

Citemos a continuación algunos modelos telúricos más, de la misma época:

- Modelo de Woodward (1665-1728). Este autor, británico igualmente, expone en su *Ensayo sobre la historia natural de la Tierra* (1695), que por debajo de las múltiples capas estratificadas que constituyen la gruesa corteza de nuestro planeta, existe una esfera central acuosa.

Las aguas del Diluvio procedían de ese “mar intratelúrico” en el que se detectan los ecos del Tártaro platónico. Con ocasión de la gran inundación bíblica, dichas aguas habrían 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 generativo son inseparables.

El interés de la *gestalt* de Woodward reside en que sintetiza, de hecho, el esquema general de las teorías neptunistas, que fueron las predominantes durante más de un siglo.

- *Modelo de Whiston* (1667-1752). En la teoría de la Tierra que este clérigo inglés aficionado a la especulación geológica dio a conocer en 1696 (Whiston, 1978), 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.
- *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. 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 (Halley, 1693).
- *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*, reeditado en 1984) 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 esta estructura recurriendo al postulado básico del neptunismo, que se ha tendido a asociar con la defensa del diluvio bíblico. A saber que la Tierra primitiva se hallaba totalmente cubierta por las aguas, y que de la retirada o la evaporación de éstas proceden sus actuales materiales con la disposición que presentan.

José Luis San Miguel de Pablos

- 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 Ellemberger, 1975 y 1977) 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 crustal”, 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 fantástica– postuló Hutton antes de acabar el siglo.

#### 4. Historia geológica: una visión procesual anterior a Darwin

La especulación filosófico-natural acerca de nuestro globo y de los procesos de desgaste y reconstrucción de los elementos geomorfológicos es antiquísima, tal como hemos visto. Y ya el primer pensador que reflexionó extensamente sobre el tema, Aristóteles, se dio cuenta de que procesos 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, incluso quizás “una eternidad”... Ahora bien, dado el sesgo literalista que adoptó el cristianismo institucional, esa especulación tenía por fuerza que ser mirada con extrema sospecha; y si no se extinguió durante los largos siglos de poder eclesiástico absoluto fue gracias a la pervivencia del espíritu filosófico heredado del mundo antiguo.

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, pues es un hecho que para otras tradiciones, como las de la India, que manejan ciclos de miles de millones de años (*vid.*, por ejemplo, García Cruz, 1999), una querrela doctrinal de estas características carece de sentido.

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. Fue Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), el primer gran naturalista que puso sobre la mesa el tema. El suplemento de su *Historia Natural* titulado *Les époques de la Nature*, cuya primera versión data de 1749 (la segunda, corregida y completada, apareció en 1779 como obra 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), prefirió dejar inédito, en el que hablaba de 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”. 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 tanto la cronología como el hecho de contener la primera formulación de la *teoría direccionalista de la Tierra*. Esta hipótesis tiene su origen en los primeros autores modernos que especularon sobre el origen del planeta: si 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. 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.

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-direccionalismo.

Ecós estoicos y aristotélicos 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 nebular 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>26</sup>.

<sup>26</sup> Kant, I. (1988): *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, par. II, sec. 7, H. Fischer Verlag, Erlangen, 1988; cit. por García Cruz, C. M. (2001): “Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico” en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (9.3).

José Luis San Miguel de Pablos

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”.

Vemos como la recuperación de antiguas tradiciones culturales con núcleos paradigmáticos reconocibles ha sido muy importante en la historia de las ideas sobre la Tierra y sus procesos. Se diría que en la historia de las ciencias de la Tierra se observa, más que en la historia de las otras ciencias, un retorno en ciclicidad espiral 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 generada históricamente*, y no determinada por una construcción lógico-formal previa, la que se nos revela aquí.

Sea como fuere, numerosos conceptos básicos, principios reguladores e imágenes paradigmáticas que han tenido gran importancia en la ulterior evolución de la geología, se barajaban ya a finales del siglo XVIII. Fue también entonces cuando se pusieron los cimientos del plutonismo, la teorización que sostiene 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, pues, 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, partiendo de los datos que él mismo había recogido, relativos al nacimiento de pequeñas islas y de montes aislados, a consecuencia de efusiones volcánicas. Hace notar que, si esto sucede en nuestros tiempos, habrá ocurrido también en el

pasado (una observación típicamente *actualista*), por lo que las montañas deben tener un origen volcánico<sup>27</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 muy distintas: la primera de ellas, el *calor interno terrestre*, que responde a una geotradición de la cual distintos ejemplos han sido evocados en las páginas que preceden; pero parece que consideró también como segunda posibilidad la combustión subterránea de minas de carbón. De todos modos, la hipótesis del “origen húmedo” del relieve siguió siendo la predominante en 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) había realizado una serie de mediciones del nivel del Mar Báltico que condujeron a pensar que está descendiendo, un dato que Linneo consideró 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 6.000 años”, y por supuesto a causa del Diluvio, cuyas aguas, según él, no se retiraron de golpe sino que lo hicieron de manera lenta y continuada, en un proceso que, de hecho, aún dura.

## 5. La “filosofía geológica” de la Ilustración

Percibimos la sed de visualización, de aprehensión sintética a través de la imagen (en lo que se refiere a la estructura) o de la narración (en cuanto al proceso), que la Tierra ha despertado desde los más remotos tiempos. Esa misma sed presidió el nacimiento de la geología.

Durante largo tiempo, la especulación sobre los rasgos y los procesos constitutivos del mundo terrestre tuvo en buena medida carácter de exploración categorial. Los pensadores que, hace dos o tres siglos, se enfocaban sobre la Tierra estaban estableciendo las bases conceptuales y sintético-visuales que harían posible la investigación futura de nuestra morada cósmica. El hecho es que a partir de indicios diversos –algunos tan familiares como la dualidad tierra-mar y las montañas, otros algo menos, como los volcanes y los terremotos– la facultad imaginativa puso en pie visiones esquemáticas del interior del globo, de su formación y su evolución, que en muchos casos nos parecen ingenuas, pero que en otros nos sorprenden

<sup>27</sup> Moro, L. (1740): *De crostacei e degli altri marini corpi che si trovano su'monti*; cit. por Deparís y Legros (2000).

José Luis San Miguel de Pablos

por la intuición de explicaciones que confirman 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 defensa de la dogmática bíblica fuese incapaz de frenar la actividad pensante e “imaginante” de los investigadores.

Una bifurcación en cuanto al modo de considerar la Tierra la supuso el desarrollo de los estudios locales como alternativa a la especulación filosófico-natural sobre la Tierra como realidad global. La geología de las pequeñas escalas monopolizó durante largo tiempo la imagen del geólogo como estudioso exclusivo de los detalles estructurales, los componentes minerales (“las piedras”), etc. de la Tierra. Pero no por ello desapareció la preocupación por el planeta como un todo: se hizo aun más minoritaria, se acentuó su dimensión “filosófica” y permaneció teñida de ese estilo narrativo, *imaginal* y romántico que reconocemos en un Hutton, un Werner, un Lyell (con su “regreso del ictosaurio”<sup>28</sup>), un Wegener y, más cerca de nosotros, un Tuzo Wilson. Se diría que los cálculos –en cualquier caso, en dosis bastante moderadas– 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, hace sólo unas décadas, la “fantasiosa teoría” de la deriva continental.

### 6.1. La escuela neptunista

La presencia de escuelas rivales, sin llegar ninguna de ellas a imponerse por completo, ha sido en el ámbito de la geología un rasgo más acusado y más duradero que en las otras ciencias de la naturaleza. De hecho, el nacimiento mismo –a caballo de los siglos XVIII y XIX– de una geología que, por contar con una base observacional lo bastante amplia, se puede ya considerar científica, estuvo enmarcado por la controversia que mantuvieron dos corrientes opuestas: la *neptunista* y la *plutonista*. El jefe de fila de la primera fue 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 mero *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

<sup>28</sup> Vid. Gould (1987), cap. 4 (“Charles Lyell, historiador del tiempo cíclico”).

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 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 ello no es cierto, ya que hay que contar también con otros antecedentes, como el de Lucrecio y su *decantación primordial* a partir de un caos acuoso. 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 con gran frecuencia a exégesis del mito bíblico del Diluvio.

La idea de una *disolución generalizada*, con ocasión del Diluvio, seguida de una resedimentación ordenada de los materiales, fue formulada –como vimos– por primera vez por Woodward a finales del siglo XVII. Esta hipótesis fue el hilo conductor de todas las grandes teorías neptunistas del siglo siguiente y principios del XIX.

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 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 *antiactualismo* que tan extendido estaba entre los neptunistas). Werner, que era ante todo mineralogista y petrólogo, no estaba en realidad interesado en entrar en disquisiciones teológicas. Su sistema geognóstico era útil para la prospección minera, y eso era lo que contaba para él. Sólo en segundo lugar –en opinión de Ellemerger (1988, vol. 2)– situaba los aspectos relativos a la génesis de las rocas, es decir, la doctrina neptunista propiamente dicha. Por lo demás, el mismo Ellemerger hace ver, aportando referencias concretas, que el supuesto fundamentalismo bíblico de Werner no puede sostenerse, ya que defendió en más de una ocasión la necesidad de contar con “períodos enormes de tiempo”, incluso de “un millón de años”, para la precipitación de las “rocas primitivas” (Werner, 1984).

José Luis San Miguel de Pablos

Contemporáneo de Werner, el ginebrino Jean-André 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 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 un evolucionismo predarwinista cercano al de Lamarck.

## 6.2. El plutonismo de Hutton

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, 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* (primera edición de 1788; segunda edición, “with proofs and illustrations”, de 1795) Hutton subraya el carácter regenerativo de los procesos cíclicos que caracterizan la dinámica de nuestro globo. La inspiración aristotélica de esta concepción resulta evidente. 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".

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 en su conjunto? De hecho, Hutton mismo consideraba necesario aportar aclaraciones a su modelo "mecánico":

"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".

No podrá extrañar, por tanto, la afirmación de McIntyre (1970), de que "el secreto de Hutton estribó en que consideró al mundo como una especie de superorganismo [...]. Ya que, como él dice, *tenemos un sistema compuesto de cosas que, en conjunto, forman un mundo viviente*".

Resulta, pues, que Hutton concebía la Tierra como una especie de entidad dotada de una circulación permanente de materia, análoga a la circulación de la sangre, y poseedora de ciclos vitales similares a los de los organismos; pero, por lo demás, no parecía tener del todo claro si éstos últimos son o no equiparables a 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 mismo con la teoría Gaia de James Lovelock), podemos pensar que el hecho de que ya se le plantease a Hutton, hace más de doscientos años, subraya su condición de precursor de una *ciencia de la Tierra-sistema*, de una ciencia que ni siquiera surgió en el siglo que siguió al suyo, pero que sí apunta hoy día.

José Luis San Miguel de Pablos

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” se han formado en el fondo del mar. Es por ello que su principal discípulo y 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”.

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

“La materia de este mundo activo está en perpetuo movimiento, y su saludable circulación crea la provisión, sabiamente establecida, para el crecimiento y la 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”.

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 pasar por alto lo que era, de hecho, uno de los rasgos fundamentales de 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”.

La concepción expuesta por Playfair justificaba que el traductor al francés de su *Explication*, Basset, comparase elogiosamente a Hutton con los geo-vitalistas de la Grecia antigua, y en primer lugar con Aristóteles. Y no es de extrañar tampoco que, en nuestros días, el padre de la teoría de Gaia, James Lovelock (1993) considere que su propia concepción organicista de la Tierra entronca con el ideario de Hutton.

Conviene tomar nota, por otra parte, del antecedente que representa la tesis doctoral en medicina de Hutton, *La sangre y su circulación en el microcosmos* (Leyden, 1749), destacado por McIntyre (1970), 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 constitución de este planeta como un mundo vivo, esto es, como un mundo que mantiene un sistema de plantas y animales vivientes”.

Las escuelas geológicas neptunista y plutonista, que competían hace dos siglos, pueden ser tenidas, ambas, por científicas en la medida que compartían la misma vocación de verificación empírica. Aunque siempre desde el prisma innegociable de sus respectivas ideas-guía, lo que resta algunos puntos a su científicidad. Y esto vale lo mismo para Werner y De Luc que para Hutton y Playfair: todos salían al campo a buscar lo que querían ver, y todos parecían estar ciegos a cuanto contradecía sus esquemas. No cabe duda que el caso de las escuelas neptunista y plutonista es, ¡valga la redundancia!, paradigmático en relación a la propuesta kuhniiana de que los paradigmas asumidos “filtran” la percepción de los datos. Por otra parte, las dos concepciones vehiculaban imágenes arquetípicas muy distintas. Del lado del neptunismo, la *gestalt* de una disolución acuosa generalizada y de una precipitación gradual posterior nos remite a la pasividad del elemento “tierra”, que contrasta con la naturaleza a la vez caotizante y genésica del elemento “agua” (las *aguas madres*). Por lo que al plutonismo se refiere, lo que vemos es la fuerza “masculina” del fuego obrando activamente desde el interior de Gea... Es difícil no percibir aquí los ecos de esa misma tradición neohermética que la *Naturphilosophie* trataba de recuperar por entonces. La proximidad de la geología naciente (en la medida en que trataba de aportar explicaciones globales y genésicas) con respecto a la *ciencia romántica* de finales del XVIII y principios del XIX es un dato claro que da la impresión de haber marcado apreciablemente la historia ulterior de la ciencia de la Tierra.

José Luis San Miguel de Pablos

## Referencias bibliográficas

- > Aristóteles: *Del cielo*. Madrid, Editorial Gredos.
- > Aristóteles: *Meteorológicos*. Madrid, Editorial Gredos.
- > Bradley, W. H. (1963): "Leyes geológicas"; en Albritton, C. C., ed.: *Filosofía de la geología*. México DF, Compañía Editorial Continental.
- > Buffon, conde de (1778): *Las épocas de la Naturaleza*. Madrid, Alianza Editorial.
- > Deparis, V. y Legros, H. (2000): *Voyage à l'intérieur de la Terre*. París, CNRS Éditions.
- > Descartes, R. (1644): *Los principios de la filosofía*. Parte IV: "Sobre la Tierra". Madrid, Alianza Editorial.
- > Ellemberger, F. (1988): *Histoire de la Géologie*. París, Tec & Doc-Lavoisier.
- > Engelhardt, W. y Zimmermann, J. (1982): *Theory of Earth Science*. Cambridge University Press.
- > García Cruz, C. M. (1999): "La edad de la Tierra y otras cosas por el estilo"; en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Universitat de Girona.
- > Gohau, G. (1990): *Une histoire de la Géologie*. París, Seuil.
- > Gould, S. J. (1987): *La flecha del tiempo*. Madrid, Alianza Editorial.
- > Hallam, A. (1985): *Grandes controversias geológicas*. Barcelona, Labor.
- > Hesíodo: *Teogonía*. Madrid, Gredos.
- > Hutton, J. (1788-1795): "Teoría de la Tierra"; en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*; pp. 153-205.
- > Kuhn, T. S. (1962): *La estructura de las revoluciones científicas*. México DF, Fondo de Cultura Económica.

- > Leibniz, G. W. (1749): *Protogæa. Del primitivo aspecto de la Tierra y de su antiquísima historia*. Oviedo, Ediciones KRK.
- > Lyell, C. (1990): *Principles of Geology*. The University of Chicago Press, facsímil (ed. or.: 1830-1833).
- > McIntyre, D. B. (1963): "James Hutton y la filosofía de la geología"; en Albritton, C. C., *op. cit.*
- > Oreskes, N. (1999): *The rejection of continental drift*. Nueva York, Oxford University Press.
- > Pedrinaci, E. (1993): "La construcción histórica del concepto de tiempo geológico"; en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*; pp. 315-323.
- > Platón: *Fedón*. Madrid, Gredos.
- > Rioja, A. y Ordóñez, J. (1999): *Teorías del universo*. Madrid, Síntesis, vol. 1.
- > San Miguel de Pablos, J. L. (2004): *La Tierra, objeto paradigmático. Consecuencias epistemológicas de una confrontación entre tradiciones geológicas*. Tesis doctoral, Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid (edición electrónica).

