

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| <i>Introducción. Las tres etapas de la Cosmología</i> | 11 |
|---|----|

PARTE I

EL UNIVERSO DE LAS DOS ESFERAS

| | |
|---|----|
| 1. LAS CONCEPCIONES PRESOCRÁTICAS | 17 |
| Del mito al <i>logos</i> | 18 |
| Los críticos de la diversidad | 24 |
| La música de las esferas | 27 |
| La introducción de los elementos | 29 |
| El mundo de los átomos | 32 |
| 2. LAS ESCUELAS ATENIENSES | 35 |
| Platón: las formas y el demiurgo | 36 |
| Los hechos de los cielos y la perfección de la esfera | 40 |
| El cosmos de Aristóteles | 44 |
| Los epicúreos y estoicos | 50 |
| 3. LOS ÚLTIMOS SIGLOS DE LA ANTIGÜEDAD | 55 |
| El modelo de los astrónomos. Ptolomeo | 56 |
| El neoplatonismo | 62 |
| El mundo de los primeros cristianos. Filopón | 71 |
| 4. EL COSMOS MEDIEVAL | 75 |
| El legado de los árabes | 75 |
| El cosmos escolástico | 78 |
| Escolásticos y astrónomos | 86 |
| El vacío y el infinito | 90 |

PARTE II
EL UNIVERSO INFINITO

| | |
|--|-----|
| 5. COSMOLOGÍAS RENACENTISTAS | 99 |
| Magia, astrología, alquimia | 101 |
| Las concepciones de los humanistas | 105 |
| El universo indefinido y el universo infinito | 106 |
| Las filosofías química y magnética | 111 |
| 6. EL GIRO COPERNICANO | 115 |
| El modelo de Copérnico | 116 |
| Novedades en los cielos: novas y cometas | 122 |
| Kepler y la geometría del cosmos | 127 |
| La irrupción del telescopio | 137 |
| 7. EL UNIVERSO MECANICISTA | 145 |
| La materia y sus interacciones | 146 |
| Los usos del experimento y el papel de las matemáticas | 154 |
| El universo vorticial | 157 |
| 8. EL UNIVERSO NEWTONIANO | 165 |
| La nueva mecánica | 166 |
| La gravitación universal | 173 |
| El universo de Newton | 178 |
| La herencia newtoniana | 187 |
| 9. EL UNIVERSO EN EL SIGLO DE LAS LUCES | 191 |
| Las cosmogonías cristianas | 192 |
| El descubrimiento de la galaxia | 199 |
| La cosmogonía de Kant | 206 |
| La observación y las matemáticas: Herschel y Laplace | 209 |
| 10. INTERLUDIO POSITIVISTA | 217 |
| La materia y el éter | 219 |
| Nebulosas y universos-isla | 227 |
| El debate de las galaxias | 230 |
| La ley de Hubble | 237 |

PARTE III
EL UNIVERSO RELATIVISTA

| | |
|--|---------|
| 11. EL UNIVERSO RELATIVISTA | 243 |
| La teoría de la relatividad restringida | 244 |
| La relatividad general y los modelos de Einstein y de Sitter | 250 |
| El universo en expansión | 259 |
| Física y Cosmología | 264 |
| 12. EL UNIVERSO DEL BIG BANG | 267 |
| La relatividad cinemática | 268 |
| La cosmología de los números | 274 |
| El big bang y la nucleosíntesis | 278 |
| La teoría del estado estacionario | 283 |
| El big bang estándar | 285 |
| <i>Conclusión. Los problemas actuales de la Cosmología</i> | 291 |
| <i>Bibliografía</i> | 297 |

Como es sabido, la Ilustración fue un movimiento intelectual que dominó el panorama europeo durante la segunda mitad del siglo XVIII, dentro del cual se defendía la libertad de pensamiento y el ejercicio de la razón frente a las concepciones procedentes de la tradición y al dogmatismo de las creencias religiosas, aunque por otra parte sus acentos tendrían que matizarse en el caso de cada país. En realidad, no se trató sólo de un movimiento puramente intelectual, pues los ilustrados profesaban una fe optimista en que la razón podía cambiar y mejorar el mundo, alumbrando así la idea de progreso. Entre otras cosas, estas convicciones se oponían a la creencia, mantenida todavía a fines del siglo XVII y aún durante las primeras décadas del siglo XVIII, de que el mundo y la misma humanidad se hallaban en decadencia, algo que en este último caso se patentizaría en la llamada polémica entre los antiguos y los modernos, provocada por la desmedida exaltación renacentista del mundo antiguo; frente a ella, los ilustrados afirmaron su optimismo en el poder de la razón para cambiar la sociedad. Este pesimismo también se reflejó en los intentos de conciliación del relato del Génesis bíblico con las doctrinas de la nueva ciencia, pues en ellos la caída y expulsión del Paraíso, así como el castigo que supuso el Diluvio, provocaron una Tierra que como lugar de estancia del ser humano había perdido su condición paradisíaca original. De este modo, la Ilustración vino a cambiar las perspectivas del ser humano, que bajo el dominio de la religión había puesto sus miras en la otra vida, prometiéndole una felicidad en ésta guiado por la razón y por las innovaciones que traían la industria y la ciencia.

En el campo de la cosmología la Ilustración trajo como principal consecuencia el abandono del papel de la religión, que hasta la fecha había sumi-

nistrado el fundamento metafísico de las proposiciones sobre las cuales se erigían las concepciones del universo. Siguiendo el camino abierto por el racionalismo cartesiano, Dios quedó en todo caso relegado al mismo momento inicial de la creación y al diseño —siempre razonable— de las leyes, cesando a partir de ahí su intervención ordinaria en el mundo. Dicho en otros términos, la naturaleza se tornó autónoma. En este punto se suele contar una anécdota según la cual, cuando un conocido científico cuya obra se comentará en este capítulo, Pierre-Simon de Laplace, presentó su obra a Napoleón, éste le señaló con insatisfacción que Dios no aparecía por ninguna parte en ella. A lo que Laplace le respondió: «Sire, no he necesitado de esa hipótesis». Sin duda la religión siguió —y sigue— jugando su papel en las convicciones, actitudes y preferencias teóricas de cada uno de los científicos que sostienen profesiones de fe, pero definitivamente dejó de constituir entonces la piedra de toque con la cual tenían que contrastarse las teorías. Esto estuvo relacionado con la adopción de una posición *determinista* en la física. Tal como la presentó Laplace, si alguien pudiese conocer la posición de todos los cuerpos del universo, así como todas las fuerzas que actúan sobre ellos, y tuviese la suficiente capacidad de análisis, podría abarcar en una sola fórmula todos los movimientos y conocer tanto el pasado como el futuro. Algo, añadió, que sin embargo se hallaba infinitamente lejos de las capacidades del ser humano, pese a lo mucho que había logrado hacer progresar la astronomía y la mecánica y a que sus esfuerzos por el saber no dejasen de acercarlo a ello.

De ahí que la fuerza de gravitación pasase a considerarse como una propiedad esencial de la materia, lo que relegaba la búsqueda de su causa y, lo que no es menos importante, que pasase a considerarse como un principio autosuficiente de orden en la configuración del universo, lo que hacía superflua la intervención de agentes de otra naturaleza. Bastaba para ello con extender su acción a distancias del orden de las que separaban a las estrellas. Esto, además, permitió llegar a concebir al universo como un todo interconectado, lo que vino a sustituir la concepción newtoniana de un conjunto de sistemas solares aislados por el de otro de galaxias o «universos-isla», de los cuales se pensaba que quizás incluso formasen agrupaciones de orden jerárquico superior.

Las cosmogonías cristianas

Visto desde la literatura de divulgación de la historia de la ciencia, el choque más estrepitoso entre la religión y la nueva filosofía de la naturale-

za fue sin duda la condena de Galileo a causa de sus convicciones copernicanas. Sin embargo, a poco que se examine el tema se encuentra un punto de fricción más profundo —y aún hoy no resuelto— entre el creacionismo por un lado, y las teorías de la geología y de la evolución por el otro. Una de sus manifestaciones, que se remonta al siglo XVII, fue el conflicto entre el relato del *Génesis* y la nueva ciencia. Descartes fue el primero en abrir fuego abiertamente, pues su cosmogonía nada debía a la Revelación, no sirviéndole de excusa el carácter pretendidamente ficticio de su reconstrucción del origen del mundo. Por entonces, el libro del *Génesis* se tomaba bastante al pie de la letra: la Creación había tenido lugar en seis días de la manera allí narrada, y la historia de la Tierra coincidía más o menos con la de la humanidad. Echando números con los datos de las Escrituras, esta creación resultaba remontarse a unos 4.000 años antes de Cristo o, todo lo más, a unos 6.000.

En tales circunstancias no es extraño que algunos abordasen la conciliación entre la Revelación y la nueva ciencia, partiendo de la idea de que la primera había sido dictada para la comprensión del vulgo —en este caso los israelitas—, con lo que resultaba posible una traducción al lenguaje de la ciencia. Se inició así una tradición de cosmogonías cristianas que fue bastante popular entre los clérigos británicos, extendiéndose a lo largo de todo el siglo XVIII e incluso a las primera décadas del siglo XIX, momento en el que fue ya barrida por el desarrollo de la ciencia geológica.

Aunque desde luego no fue el primero en insertar consideraciones de filosofía natural en la explicación de los contenidos bíblicos, se considera que esta tradición se abre con la publicación de la *Telluris Theoria Sacra* (1681-88) de Thomas Burnet (c.1635- 1715), rápidamente traducida al inglés con el título de *The Sacred Theory of the Earth*, que por 1726 ya conocía seis ediciones. Burnet se inspiró en la cosmogonía cartesiana, recurriendo así a las causas segundas, para relatar la historia de una Tierra que había sido arruinada por la catástrofe del Diluvio, de la que los fósiles darían testimonio. Antes de la caída de Adán y de este cataclismo, motivado por la maldad de los seres humanos, todo era edénico y perfecto: nuestro planeta describía en torno al Sol una órbita perfectamente circular, su eje no estaba inclinado respecto del plano de la eclíptica y todo respondía a la más sencilla de las geometrías. La superficie del planeta era lisa y perfecta —por entonces todavía no se veía una particular belleza en las montañas—, formada por una costra térrea bajo la cual había un estrato de agua, el cual

a su vez rodeaba a un núcleo central ígneo. En las condiciones ideales de esta primera época, el planeta tenía un agradable clima en las regiones tropicales, y la longevidad de la gente, los animales y las plantas era mayor que la actual. De hecho no había ningún tipo de meteoro, lluvia incluida, aunque la tierra era muy fértil y la continua evaporación en la zona tórrida provocada por el calor solar sí producía lluvia en los polos, donde se formaban lagos de los cuales manaban ríos que «descendían» (Burnet decía que esto era debido a que la Tierra tenía una forma achatada por el ecuador, por lo que los polos estarían más «altos») hacia las regiones templadas. Como el calor solar resultaba más elevado en estas zonas tórridas, en las proximidades del ecuador, resecaaba allí la corteza y hacía hervir el agua del estrato que estaba debajo. El aumento de la presión llevó, en la fecha conveniente, a la ruptura catastrófica de la corteza, la cual se hundió en unos lugares, formándose los océanos, y se elevó en otros, dando lugar al relieve. Esta catástrofe se inició con una lluvia y, como es sabido, de ella sólo se libraron Noé, su familia y los animales recogidos en su Arca. El planeta quedó así con su configuración actual, desequilibrándose su eje y dando esto lugar a las estaciones.

Burnet podía haberse detenido ahí pero, de convicciones milenaristas, prolongó la historia de la Tierra hasta el final de los tiempos. El calor del núcleo central, con el transcurso del tiempo, actuaría sobre las regiones de la corteza más próximas, situadas en los fondos oceánicos, disolviéndolas. Esto sería precedido por una gran sequía, que consumiría los recursos hidrológicos. Se produciría una conflagración, pues a la acción del fuego central se sumaría la combustión de los depósitos subterráneos de bitumen, azufre y otras materias por el estilo, y quizás también Dios echaría algo más de leña al fuego para ayudar al holocausto. Se produciría gran actividad sísmica y volcánica, comenzando en Roma, sede del Anticristo. Se desecarían las aguas de mares y océanos, la lava camparía por sus respetos y el eje de la Tierra volvería a alterarse y recolocarse en una situación perpendicular al plano de la eclíptica. La materia térrea en suspensión en la atmósfera, al igual que había sucedido en el caso de la formación primigenia del planeta, se acabaría depositando y formando una fértil corteza lisa. Éste sería el mundo donde los elegidos habitarían felizmente hasta el Día del Juicio. Posiblemente después del mismo la Tierra se convirtiese en una estrella (fig. 9.1).

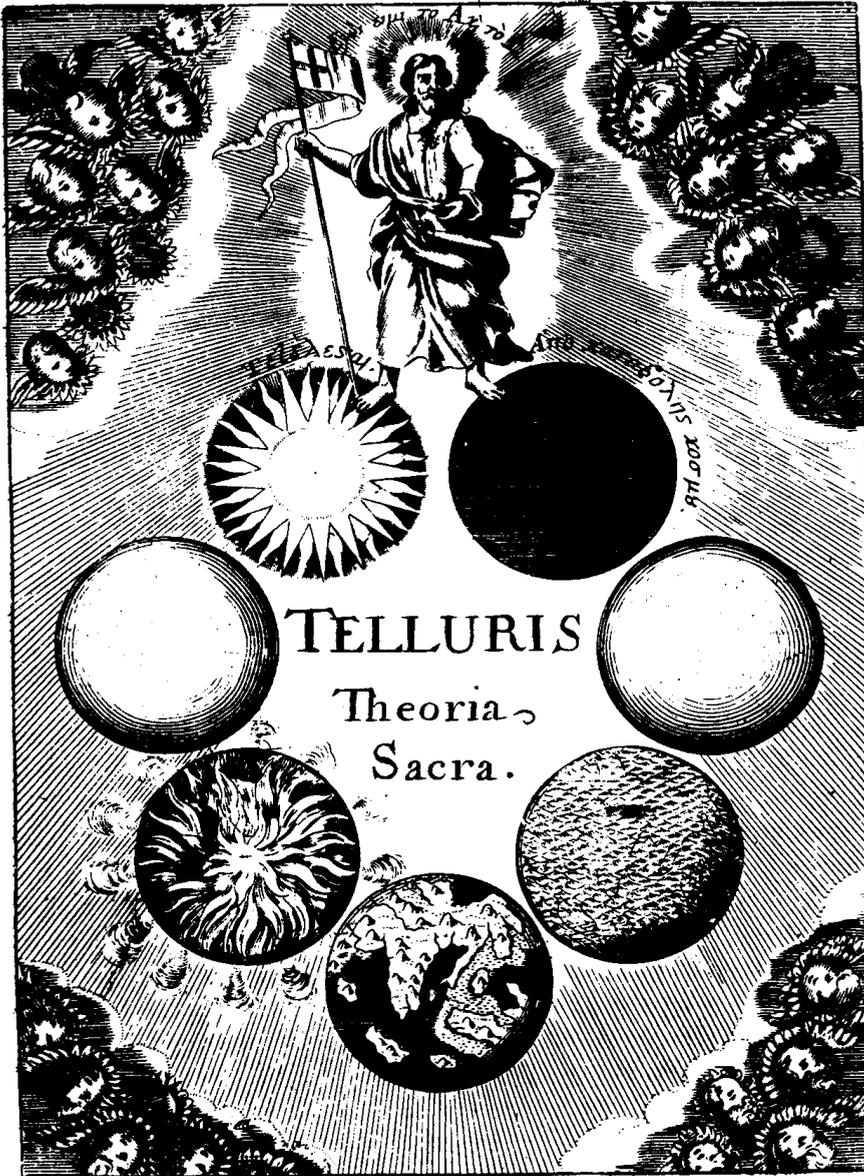


Figura 9.1. Evolución de la Tierra, de T. Burnet, *The Sacred Theory of the Earth* (1684). Arriba aparece Jesucristo, y a sus pies, en el sentido de movimiento de las agujas del reloj, aparecen representados el caos inicial, la Tierra paradisiaca, el Diluvio, donde se aprecia el Arca de Noé, la Tierra en su estado actual, la conflagración, la Tierra milenarista restaurada a su estado de perfección inicial, y su conversión final en estrella tras el Juicio Final.

Las fantasías de Burnet no agradaron del todo a muchos contemporáneos, particularmente porque se tomó la licencia de desprestigiar algunos puntos del relato mosaico que no le acababan de encajar en el esquema, como la existencia de las aguas superiores. También presentaba otras incoherencias, pues por ejemplo no contemplaba la presencia de ríos en el Paraíso y, por otro lado, si no había agua, ¿dónde podrían estar los peces que Dios había creado? En suma, para los piadosos ingleses, que se conocían bien la Biblia, la reconstrucción de Burnet se tomaba excesivas libertades con el texto mosaico. Como ya le había advertido Newton en el transcurso de una correspondencia que mantuvo con Burnet previa a la publicación de la obra: la descripción del *Génesis* narraba siempre sucesos reales, por más que el lenguaje no fuese técnico.

En 1696 el newtoniano William Whiston (1667-1752), quien sucedería a Newton en su cátedra de Cambridge, publicó en respuesta *A New Theory of the Earth*, que asimismo contó con varias ediciones. Aparte de ceñirse poco al relato mosaico, lo que había conducido a algunos de sus lectores a llegar a dudar del mismo, lo que Whiston reprochaba a Burnet era el recurso a las causas segundas, las explicaciones mecánicas, que eliminaban del mundo la providencia especial de Dios, su intervención más o menos directa, que como se ha visto constituía un punto fuerte en las creencias de Newton y de su círculo. Whiston siguió a Burnet en la descripción de la perfección del planeta en su primera etapa, aceptando la perpendicularidad del eje terrestre con la eclíptica y la circularidad de la órbita. Además, el día y el año coincidían (no había movimiento diurno), lo que le daba algo más de tiempo que nuestras 24 horas por jornada para la obra divina. La Tierra, originalmente un cometa, habría adoptado una órbita circular gracias a la intervención de Dios hace seis o siete mil años. Su núcleo había sido calentado por la acción del Sol al pasar junto a él y su atmósfera estaba compuesta por una mezcla de fluidos y vapores elevados por la misma causa y que se depositaron una vez que la órbita dejó de ser excéntrica. El agua se precipitó, filtrándose por los poros de la tierra y cubriendo su superficie, pero el calor todavía mantuvo vapor de agua en la atmósfera, las «aguas superiores». Con la caída del ser humano y su expulsión del Paraíso, el choque oblicuo con un cometa provocó la rotación diurna y que el planeta, con un núcleo todavía bastante fluido, se achatase por los polos. También se rompió la corteza. La catástrofe del Diluvio también provino de la colisión con un cometa, éste de tamaño mayor que el anterior, y que Whiston acabaría

por identificar con el Halley. Esta colisión modificaría la órbita, tornándola elíptica. Precisamente eran estas colisiones las que habían desarreglado no sólo a la Tierra, sino a todo el Sistema, que había salido perfecto de las manos del Creador. En el caso de la Tierra, Whiston calculó que el encuentro con el cometa habría tenido lugar el 27 de noviembre del año 2349 a. C., y su acción —la atracción gravitatoria del cometa— habría durado tres horas y media. El cometa igualaría en tamaño a la Tierra y habría cruzado su órbita a 60.000 millas de distancia de la misma. De esto habría surgido la inclinación del eje y el movimiento orbital elíptico actual de nuestro planeta. Después, en la segunda edición, cambió las cifras, reduciendo el cometa a un tercio de su tamaño anterior y limitando su actuación a 35 minutos; el Diluvio habría comenzado a las 2 de la madrugada en el meridiano de Pekín, donde habitaba Noé como primer monarca de los chinos; más tarde situaría las lluvias en Armenia. Whiston incluso calculó el número de gente que había vivido antes del Diluvio: 82.232 millones. La conflagración final también sería la obra de un cometa, posiblemente el mismo, que sacudiría a la Tierra en su órbita, siendo afectada por el calor del Sol unido al suministrado por el cometa. La corteza sería consumida y se restauraría en un estado igual al primitivo; también se produciría una alteración en el movimiento diurno, restaurando la condición anterior. Tras el Juicio Final, otro choque con un cometa arrancararía al planeta de su órbita convirtiéndolo de nuevo en el cometa que había sido al principio de los tiempos. El papel de los cometas no resultaba del todo genuinamente newtoniano, al constituir una causa secundaria de la configuración del Sistema, eludiendo la acción divina directa. Más tarde, en sus *Astronomical Principles of Religion*, Whiston cambió de idea y atribuyó las irregularidades del Sistema a la libre y sabia actuación de la mano de Dios.

Con lo visto basta para hacerse una idea de los entretenidos contenidos de este tipo de obras, que por entonces no pocos se tomaban bastante en serio. Para encontrar un relato de la formación del mundo despegado de los detalles de las Escrituras y algo menos ingenuo hay que esperar unas décadas y desplazarse a Francia, donde un célebre naturalista, Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), lo expuso inicialmente en el primer volumen de su famosa *Histoire naturelle* (15 vols., 1749-1767), con el título de «Historia y teoría de la Tierra». A diferencia de Burnet o de Whiston, quienes limitaron su historia sólo a nuestro planeta, Buffon abarcó todo el Sistema Solar. Adoptando la idea de Whiston, éste habría surgido del choque oblicuo

de un cometa con el Sol, que le habría arrancado a éste una porción de su materia. La oblicuidad de la colisión explicaría que esta materia separada del Sol adoptase un movimiento de giro en torno al mismo, dividiéndose y dando lugar con ello a los planetas y satélites, cuya configuración actual comenzaría a producirse, primero, por un proceso de enfriamiento y solidificación y, luego, fundamentalmente, por la erosión de las aguas, secundada por los movimientos sísmicos y la acción volcánica. Se trataría de una acción que continuaba modificando el relieve en la actualidad, una idea que anticipaba el *gradualismo* geológico del siglo XIX, finalmente triunfante sobre las concepciones *catastrofistas*, entre las cuales se cuentan las teorías diluviales que, como las que se acaban de comentar, lo habían precedido. A la hora de intentar conocer el pasado de nuestro planeta, señalaba Buffon, había que partir de las causas que se observan en el comportamiento regular de la naturaleza, induciéndolo de ellas. Su separación del contenido de las Escrituras le llevó a tener que firmar —hipócritamente— una profesión de fe en la que rechazaba todo lo que hubiese manifestado en contra de la Revelación. Algo que tendría que hacer de nuevo cuando, retomando el tema, publicó en 1779 su obra *Les époques de la nature*, en la que abrió una nueva dimensión temporal a la historia del planeta; apareció en el vol. 5 de los *Suppléments* a la *Histoire naturelle* (7 vols., 1774-1789). Si se acepta el gradualismo no hay manera de establecer una historia, una cronología.

Pero el mismo año de 1749 en que veía la luz su primer tratamiento del tema Jean Baptiste Dortous de Mairan (1678-1771) había señalado que las temperaturas medidas en la superficie de la Tierra no se podían explicar exclusivamente por el calor recibido del Sol: se precisaba también de una aportación desde el interior de nuestro planeta. Esto se avenía muy bien con la idea de Buffon de que la Tierra, junto con los otros planetas, se había constituido a partir de la caliente materia solar. De modo que se puso a experimentar sobre la tasa de enfriamiento de diversas bolas de hierro y de otros materiales con el fin de obtener resultados que se pudiesen extrapolar a escala planetaria.

La datación publicada —en realidad, una serie de fechas dividida en épocas— arrojaba 75.000 años desde la formación del planeta y 168.000 para el intervalo entre tal formación y la extinción de la vida sobre el mismo. Pero en ese momento ya pensaba que se había quedado muy corto. En sus manuscritos estas cifras se convertirían, respectivamente, en unos tres millones —en realidad, 2.993.280 años— y en siete millones de años.