

en particular (Descartes, 1996c: II, art. 31). El atento lector de la física cartesiana que fue Newton rechazará por completo que cuerpo alguno pueda servir de sistema objetivo de referencia. De ahí su cerrada defensa del espacio absoluto. El tema, no obstante, permanecerá abierto y será ampliamente debatido hasta que Einstein elimine toda esperanza de encontrar ese sistema único y objetivo que permita decidir inequívocamente el movimiento o el reposo de los cuerpos. O mejor, hasta que Einstein muestre que la búsqueda misma de tal sistema carece de todo significado físico.

4 Inercia, gravedad y fuerza centrífuga

4.1. El movimiento de los planetas, la gravedad y la fuerza centrífuga

Febrero de 1650. Las frías madrugadas de Estocolmo han puesto fin a la vida de Descartes (obligado por la reina Cristina de Suecia a impartirle clases a intempestivas horas de la mañana). Ocho años antes había fallecido Galileo. Kepler, por su parte, había desaparecido en 1630 víctima, lo mismo que Descartes, de una neumonía. Nos hallamos, pues, exactamente en la mitad del siglo XVII. Muchas cosas han variado en filosofía natural, pero, desde el punto de vista de la explicación de los movimientos planetarios, una en particular interesa ahora destacar, ya aludida con anterioridad. Se trata del profundo cambio que tiene lugar en la concepción del *movimiento circular* de los cuerpos celestes, considerado desde la Antigüedad como *natural y simple*.

En el marco aristotélico de la división del mundo en dos regiones, una sub lunar y otra supralunar, el movimiento que de modo "natural", o no forzado, realizan los cuerpos terrestres tiene lugar en línea recta. En cambio, los cuerpos celestes se desplazan junto con sus esferas orbitales describiendo círculos perfectos alrededor del centro del mundo. Puestas así las cosas, dos conclusiones se derivan de ello. En primer lugar, la *gravedad* no es un fenómeno propio del mundo celeste, ya que, si consiste en la tendencia de los cuerpos a ocupar el lugar más próximo a ese centro, es manifiesto que los astros no pesan (su inclinación, por el contrario, los conduce a mantenerse equidistantes de él). En segundo lugar, tampoco hay que atribuir a los pobladores de los cielos el menor esfuerzo por alejarse de los centros de rotación en línea recta. Nada permite suponer que el movimiento de estrellas y planetas engendre lo que Huygens denominó *fuerzas centrífugas*.

Una vez más, la Tierra es de naturaleza distinta al cielo. Las piedras no son como los planetas. Si atamos una piedra con una cuerda y la hacemos girar en

ción y el equilibrio de los fluidos), sabemos que ya en la década de los sesenta Newton se pronunció en contra de Descartes y su concepción relacional, inclinándose en favor de un espacio y un tiempo absolutos. En este alejamiento de la filosofía natural cartesiana dos convecinos suyos de la ciudad de Cambridge ejercieron una probada influencia: Henry More e Isaac Barrow.

6.2. Henry More e Isaac Barrow

El espiritualista, cabalista y hermético Henry More (1614-1687) es conocido por ser uno de los principales representantes de la denominada "Escuela platónica de Cambridge" (sobre este autor puede consultarse: Koyré, 1979: 107-146 y Rupert Hall, 1990). Ligado al Christ's College de Cambridge desde 1639 hasta el final de su vida, fue autor de diversas obras entre las que pueden citarse *An Antidote against Atheisme* (1652), *The Immortality of the Soul* (1659) y *Enchiridium metaphysicum* (1671). Además de More, otros nombres relevantes de este impreciso grupo de filósofos platónicos son los de Ralph Cudworth, John Wilkins, Richard Cumberland o John Worthington.

Una de las notas comunes a todos ellos es el hecho de rechazar una explicación mecanicista del mundo como la de Descartes (por el riesgo que implicaba de precipitarse en el materialismo y el ateísmo) e inclinarse en favor del organicismo dinamista defendido por los renacentistas. Ante el gran problema de la causa del movimiento de los cuerpos, no consideran posible atenderse a la idea de partes de materia en contacto que intercambian cantidad de movimiento como consecuencia de sus mutuos y constantes choques. Por el contrario, subrayarán la necesidad de introducir una cierta dimensión espiritual en el ámbito de lo corpóreo que permita dinamizar la materia y aproximarse a la Naturaleza, en su conjunto, más a un organismo vivo que a una máquina.

Tal como indica con todo acierto Rupert Hall (1990: 128), en el siglo XVII el término *espíritu* significaba un principio activo, impalpable, fugitivo, misterioso. Los químicos hablaban de espíritu para referirse a un fluido volátil como el alcohol; los fisiólogos postulaban espíritus naturales, vitales y animales, para dar razón de las facultades físicas y mentales de los seres humanos. More se referirá a un "espíritu de la naturaleza", concebido como un agente o una substancia penetrable, imperceptible y elástica. Presente por todas partes, es fuente de actividad derivada de Dios y responsable, en esa medida, de acciones como la gravedad, la luz o el magnetismo. La causa, por tanto, del movi-

esfera de las estrellas no había nada, esto es, ni cuerpos ni espacio vacío; sólo era concebible un mundo, constituido por una sola Tierra, cinco planetas, el Sol y la Luna, y dicho mundo no se aloja en un espacio y en un tiempo previos e independientes.

En la Edad Media, en cambio, la aceptación de la filosofía natural aristotélica suscitó a los cristianos el problema (en el fondo más teológico que cosmológico) consistente en determinar hasta qué punto las tesis del filósofo griego no suponían una limitación del poder divino. ¿Acaso Dios no podía haber creado una pluralidad de mundos, sin conexión entre sí, separados por un *vacío imaginario infinito*, si ésta hubiera sido su voluntad? Así, reflexiones teológicas condujeron a tomar una posición contraria a las tesis aristotélicas de la unidad y finitud del cosmos, y con ello a adoptar un punto de vista distinto con respecto a la mencionada posibilidad del espacio vacío.

Cuatro siglos después volvemos a encontrar este mismo asunto. Pero lo que en la Baja Edad Media no pasaba de ser una disputa sobre todo acerca de Dios y la creación, en la época de Newton tendrá importantes consecuencias en el modo de pensar el propio espacio. Y es que en el siglo XVII lo que está en juego es la ubicación de las estrellas en un hipotético espacio vacío infinito. A favor se pronunciarán los pensadores atomistas que comienzan a proliferar en la época; en contra se situarán Descartes y sus seguidores. En efecto, este último comparte con los atomistas la defensa de un universo sin esfera estelar, abierto, que se extiende por doquier sin límite alguno, en el que las incontables estrellas pudieran a su vez ser soles en torno a los cuales giraran planetas. Sin embargo, al ser toda extensión de carácter material, no puede desdoblarse en extensión material o corpórea (cuerpo) y extensión vacía (espacio); en consecuencia, la filosofía natural cartesiana excluye toda posibilidad de un espacio vacío interestelar.

Éste es el estado de cosas al que ha de enfrentarse Newton en lo que al tema del espacio se refiere. Sus juveniles lecturas de autores como el atomista Gassendi o Descartes (al margen de la enseñanza escolástica que recibía en las aulas universitarias) le llevarán a tener que decantarse, bien por la identificación cartesiana entre materia y extensión, cerrando la posibilidad a la existencia de un espacio vacío independiente de los cuerpos, bien por la defensa del espacio y también del tiempo como "continentes absolutos" de los movimientos, según palabras de Gassendi, que existen por sí mismos y continuarían existiendo incluso en el caso de que Dios aniquilara el universo.

A juzgar por el escrito redactado en los años inmediatamente anteriores a 1670 y titulado *De Gravitatione et aequipondio fluidorum* (*Sobre la Gravitación*

aprecian en este último. Newton pudo así escuchar de los labios de Barrow ideas referidas a un espacio absoluto al margen de la materia, vacío, penetrable e inmóvil, en el que están localizados los cuerpos de nuestro mundo y cualesquiera otros mundos que pudieran existir. Asimismo se refirió a un tiempo absoluto, el cual transcurre con total independencia de los movimientos que nos permiten medirlo. El movimiento, en consecuencia, será la traslación en el espacio y en el tiempo, en contraste con lo defendido por Descartes. Lo que no hallamos en Barrow es el "espíritu de la naturaleza" de More llenando el espacio. Simplemente apuesta por una posición inequívocamente realista, que le llevará a atribuir realidad física a una extensión geométrica que no se identifica con la extensión de los cuerpos. El espacio existe *antes* de la creación del mundo y se extiende hasta el infinito, siempre *más allá* de los confines de cualesquiera mundos creados por Dios, a modo de receptáculo universal de todas las cosas.

El hecho es que, a mediados de la década de los setenta, Newton parece haber adoptado ya ciertas decisiones importantes con respecto al espacio (y secundariamente al tiempo) que le aproximan a More y a Barrow y le alejan de Descartes. Así, en el escrito anteriormente citado, *De Gravitatione*, se inclina de manera explícita en favor de una concepción no racional de espacio y tiempo. Veinte años después retomará y desarrollará ideas muy similares en los *Principia*, concretamente en el famoso *Escolio a la Definición VIII*. En dicho Escolio se diría que únicamente mantiene su filiación con las ideas del matemático Barrow y no del metafísico More, ya que en él no hace la menor alusión a cuestiones que no sean de pura y estricta filosofía natural. Pero el *Escolio General*, añadido a la segunda edición de los *Principia*, y ciertas "Cuestiones de la Óptica" ponen de manifiesto que Newton nunca dejó de compartir algunas de las opiniones metafísico-teológicas de More en relación con el espacio y la omnipresencia divina, así como sobre el tiempo y la eternidad de Dios (epígrafe 6.8 de este capítulo).

6.3. La concepción del espacio en el joven Newton: *De Gravitatione et aequipondio fluidorum*

Dejemos a Henry More y sus disquisiciones sobre la relación de lo extenso con lo espiritual e inteligible (tema debatido en general a lo largo del siglo XVII, como es el caso, por ejemplo, de Nicolás Malebranche) para centrarnos en el tipo de espacio defendido por Newton en la década de los sesenta, coin-

miento de los cuerpos es el espíritu presente en la materia, lo que indica que se aparta por completo de la concepción cartesiana de ésta en cuanto pura extensión. En ese autor encontramos, así, una espiritualización de la materia, pero también una espacialización del espíritu.

Temprano lector de la obra de Descartes, More había mantenido con el filósofo francés una correspondencia entre 1648 y 1649 a propósito de la reducción de la materia a extensión y del problemático dualismo extensión-pensamiento. En opinión de este neoplatónico inglés, lo que define a la materia es la impenetrabilidad; la extensión, en cambio, es un atributo común a la materia y al espíritu. De otro modo no sería posible comprender cómo una y otro se ponen en relación. Si el alma puede ejercer acciones sobre el cuerpo es porque ambos son extensos. Y lo mismo sucede con Dios, el cual actúa sobre el universo (impartiendo movimiento a la materia) en la medida en que está presente por todas partes, penetrándolo todo y en inmediato contacto con todo. En definitiva, la *omnipresencia* de Dios es posible debido a que la extensión es un atributo divino (tesis en modo alguno chocante para la mentalidad de la época).

La divinización del espacio llevará a More a defender una concepción absoluta del mismo, abiertamente opuesta a las tesis relacionales cartesianas. En efecto, el espacio será entendido como independiente de los movimientos, existente por sí mismo, inmóvil, eterno, infinito; en definitiva, un receptáculo en el que los cuerpos están y se mueven. Pero, al vincularse a la omnipresencia divina, se soslaya un problema anteriormente mencionado, a saber, la conciliación de la infinitud del espacio con la del propio Dios. Además, ello permitirá mantener la idea de un espacio *vacío de materia*, pero *lleno de espíritu*, que de paso dará respuesta al problema de la transmisión de ciertas acciones o atracciones en la Naturaleza, como el magnetismo o la gravedad, sin necesidad de suponer ni el lleno material cartesiano ni la acción a distancia (cuestión esta a la que More no prestó especial atención).

Newton tuvo oportunidad de conocer el pensamiento de Henry More a través de dos obras de éste, *An Antidote against Atheisme* y *The Immortality of the Soul*. Además, hay que referirse al papel jugado por el profesor de la cátedra lucasiana de Matemáticas en el Trinity College de Cambridge Isaac Barrow, con quien el estudiante Newton mantuvo una estrecha relación en los años sesenta y al que sucedería en la mencionada cátedra, a propuesta del propio Barrow, en 1669.

Este profesor defendía en sus clases un espacio de características similares al de More, si bien desprovisto de las fuertes connotaciones teológicas que se

do, no en una infinidad de ellos a la vez. ¿Cómo lograr la especificación de dicho estado verdadero o real? Identificando un sistema de referencia o un lugar que sea objetivo. Puesto que Descartes rechaza la existencia del espacio vacío, no será éste el que pueda cumplir ese papel. El lugar de un cuerpo tiene que ser otros cuerpos. ¿Cuáles? Según se vio en el epígrafe 3.2.5, este filósofo elige los cuerpos inmediatamente próximos al móvil en cuestión, o sea, sus vecinos limitrofes. Así, en sentido filosófico, el movimiento será el cambio de posición en relación a los cuerpos contiguos.

Puesto que la Tierra es arrastrada por un torbellino de éter, con respecto a este medio circundante, se hallará en estado de reposo (en la medida en que no se da cambio de posición relativa). Es cierto que al mismo tiempo y por esa razón gira alrededor del Sol. Pero, si el verdadero movimiento se define a partir de aquellas superficies con las que un cuerpo está inmediatamente en contacto, filosóficamente hablando, la Tierra no se mueve a pesar de que, conforme a la acepción vulgar, sí lo haga en torno al mencionado astro.

Esto es lo que Newton parece haber leído en *Los Principios de la Filosofía* de Descartes (obra publicada en 1644, cuando Newton aún no había cumplido los 2 años de edad). Hacia 1664 emprende la redacción del *De Gravitatione*, en el que se distancia de lo defendido por el filósofo francés, en especial en lo que tiene que ver con la elección del sistema de referencia que permita definir el movimiento verdadero y único de un móvil en un instante dado.

El punto en litigio residirá, en efecto, en el modo de concebir el movimiento *verdadero*, no el movimiento *vulgar*. Con respecto a este último, al que más tarde pondrá los calificativos de *relativo* y *aparente*, Newton siempre estará de acuerdo en que no puede ser sino el cambio de posición de unos cuerpos con respecto a otros. Lo auténticamente interesante es saber si es posible superar esa completa relatividad que impide asignar a un cuerpo un estado único, en vez de un ilimitado número de ellos al mismo tiempo, simplemente atendiendo a los cuerpos limitrofes. Es decir, si éstos pueden constituirse en el sistema de referencia de los movimientos verdaderos y absolutos.

En opinión de Newton, la respuesta ha de ser negativa. Para que sirvieran de sistema de referencia, dichos cuerpos limitrofes habrían de ser *inmóviles*, cosa que el propio Descartes reconoce que no ocurre. Somos nosotros los que los consideramos así a fin de que puedan desempeñar su papel referencial. Pero sólo un sistema en absoluto reposo (como era la Tierra en el mundo geocéntrico antiguo) permite caracterizar unívocamente el estado de un móvil, pues, si el sistema a su vez se mueve, lo hará respecto de otro, y este segundo respecto de un tercero, y así sucesivamente. En definitiva, seguiremos atribuyendo

ciendo con los años de formación en Cambridge, durante los cuales tuvo ocasión de asistir a las clases de matemáticas impartidas por Isaac Barrow. Hay que destacar la prioridad que la noción de espacio tenía en la época sobre la de tiempo, entre otras cosas por la importancia que el tema de un posible espacio vacío interestelar tenía para la descripción de los movimientos planetarios.

El anticartesianismo de Newton, que le llevará a decantarse por un espacio vacío absoluto, se pone de manifiesto en el manuscrito de veinticinco páginas ya mencionado, *De Gravitatione et aequipondio fluidorum* (*Sobre la Gravitación y el equilibrio de los fluidos*), no publicado por Newton y que no ha visto la luz hasta este siglo (Newton, 1978a: 89-121, trad. inglesa: 121-156). Pese a que estaba destinado a ser un tratado de hidrostática, de hecho se convirtió casi exclusivamente en una reflexión crítica acerca del modo cartesiano de concebir el espacio, el movimiento y la materia.

Según ha sido expuesto en páginas anteriores, Descartes había distinguido entre el movimiento propiamente dicho definido filosóficamente y el movimiento en el sentido en el que lo emplea el vulgo. Lo que diferencia uno de otro es la determinación del sistema de referencia. En términos generales, movimiento es cambio de relación entre un cuerpo y un referente extrínseco a él, al que puede denominarse *lugar*. Luego *movimiento es cambio de lugar* (y no un proceso interno que afecte a la naturaleza del móvil, como ocurría en Aristóteles). Ahora bien, caben dos posibilidades.

La primera consiste en suponer que se puede determinar el estado de un cuerpo en relación a un ilimitado número de lugares (las paredes del camarote de un barco, el puerto del que salió, la Tierra, el Sol, etc.). En ese caso, a dicho cuerpo le corresponderá simultáneamente una multitud de estados distintos sin que entre ellos se dé incompatibilidad alguna. Y puesto que la elección entre uno u otro lugar corresponde al observador, en realidad el movimiento no será una propiedad de los seres corpóreos (como lo es la extensión), sino algo que dependa de nuestro "pensamiento". Así, el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo vendrá definido por el cambio de lugar, esto es, por la modificación de la posición en relación a otro cuerpo que queramos elegir arbitrariamente como término de referencia al margen de la distancia que los separe. En consecuencia, para Descartes, movimiento *en sentido vulgar* es el cambio de posición con respecto a cuerpos cualesquiera, próximos o alejados.

Sin embargo, esto no resulta enteramente satisfactorio. En efecto, interesa poder definir aquel estado de movimiento que es propio del cuerpo en un momento dado prescindiendo del factor de convencionalidad y arbitrariedad que introduce el observador. *Propiamente*, un cuerpo se halla en un *único* esta-

a un cuerpo innumerables estados a la vez, pero no en el sentido vulgar cartesiano, sino en su sentido filosófico. Lo cual quiere decir que Descartes fracasó "e incluso parece contradecirse cuando postula que a cada cuerpo le corresponda un único movimiento conforme a la verdad de las cosas y, sin embargo, afirma que ese movimiento depende de nuestra imaginación, ya que lo definimos como la traslación desde la vecindad de los cuerpos que no están en reposo, aunque sean así considerados" (Newton, 1978a: 93, trad.: 125).

Indudablemente, siempre que tomamos uno o más cuerpos como términos de referencia (barco, la Tierra, etc.), los detenemos idealmente y hacemos abstracción de su propio movimiento, si lo que interesa es conocer la posición de otro cuerpo con respecto a ellos. Ahora bien, la cuestión está en si podemos salir de esa relatividad y afirmar un movimiento *absoluto* y *verdadero*. No puede negarse que Newton tiene razón al exigir la inmovilidad del sistema de referencia. Pero el problema es que ningún cuerpo puede cumplir con esa condición (mucho menos después de la ley de gravitación universal, según la cual toda masa se halla en interacción gravitatoria con las demás y, por tanto, en movimiento).

Hay, sin embargo, algo cuyo reposo sí puede ser afirmado por definición: el *espacio vacío*. Carece de todo sentido atribuir movimiento al gran receptáculo del mundo, pues entonces sería necesario suponer que sus partes se alejan unas de otras estando contenidas en otro espacio, y éste en otro, etc. Desgraciadamente hasta Henry More nadie ha discutido que la ausencia de movimiento sea una característica de la extensión espacial considerada al margen de la materia. Otra cosa es que dicha extensión espacial tenga existencia física. Pero eso es justamente lo que Newton va a defender de acuerdo con More y Barrow y frente a Descartes. En consecuencia, si el espacio vacío es real, entonces se dispone del sistema de referencia inmóvil con el que definir (no medir) los movimientos absolutos de los cuerpos.

Frente a la reducción cartesiana de toda extensión a la material, con la consiguiente negación de la extensión vacía del espacio, Newton afirmará que "el espacio es dado como algo distinto del cuerpo" (Newton, 1978a: 91, trad.: 123). A partir de aquí es posible establecer las siguientes definiciones.

1. El lugar es la parte del espacio que un cuerpo llena por entero.
2. El cuerpo es aquello que llena un lugar.
3. El reposo es la persistencia en el mismo lugar.
4. El movimiento es el cambio de lugar. (Newton, 1978a: 91, trad.: 122).

Y líneas después explícitamente sostiene que, si el movimiento es el cambio de lugar, y a su vez éste se concibe como una parte de espacio capaz de ser ocupada por un cuerpo (lo que implica que habla de espacio vacío), "el movimiento se determina por relación a las partes del espacio y no por la posición de los cuerpos vecinos" (Newton, 1978a: 91 y 92, trad.: 123). Sólo de este modo será posible evitar ciertas paradojas y absurdos que derivan del relativismo cartesiano.

Así, en opinión de Newton, las posiciones, las distancias y los movimientos locales deben referirse al espacio, y no a las partes contiguas de materia, como defiende Descartes. Piénsese, por ejemplo, en la Tierra arrastrada por un remolino de partículas de éter. Puesto que no varía la distancia que la separa de dichas partículas, nuestro planeta se encontrará en reposo con respecto a ellas. En cambio, poseerá movimiento relativo o vulgar si el término de referencia es el Sol. Pero ello conduce a la paradójica circunstancia de que es este movimiento no verdadero el que engendra fuerzas centrífugas (Newton, 1978a: 92 y 93, trad.: 124 y 125). Newton esgrime así un argumento basado en *la relación entre movimiento circular absoluto y fuerzas* que desarrollará ampliamente en los *Principia* (y que se analizará en el epígrafe 6.6).

Siguiendo esta misma línea de razonamiento advierte que, si nos atenemos a la doctrina cartesiana, no es necesario que sobre un cuerpo se impriman fuerzas para que se engendre movimiento. En efecto, en el caso de que Dios detuviera bruscamente el torbellino de éter que arrastra a la Tierra, entonces es cuando ésta pasaría del estado de reposo al de movimiento verdadero o filosófico, sin que sobre ella misma se hubiera ejercido acción alguna. Y por la misma razón, si Dios detuviera la Tierra en el éter, Descartes tendría que decir que es en ese momento cuando el planeta que habitamos comenzaría a moverse verdaderamente (Newton, 1978a: 95 y 96, trad.: 127 y 128).

En definitiva, el movimiento que cabe atribuir propiamente a un cuerpo no se establece en relación a los circundantes pues, de lo contrario, resultarían consecuencias tan absurdas como las expuestas. En general, ningún ser material y móvil permite definir otros movimientos que no sean vulgares y aparentes. El verdadero movimiento según la naturaleza de las cosas ha de determinarse en relación a un sistema de referencia inmóvil que no es otro que el *espacio vacío* o *absoluto*. Dicho movimiento se definirá, por tanto, como el paso de un lugar o parte del espacio a otro lugar o parte del mismo, y no como el cambio de cuerpos limítrofes.

En contra de Descartes, para el cual no hay una noción independiente de extensión al margen de los cuerpos, Newton se declara ferviente partidario de una forma extrema de realismo espacial muy próxima a la de Barrow. En efec-

En definitiva, según el propio Newton ha afirmado en el texto anteriormente citado, "ningún ser existe o puede existir sin estar relacionado de alguna manera con el espacio". Ello permite comprender, entre otras cosas, cómo alma y cuerpo pueden ponerse en relación (algo inexplicable en la filosofía cartesiana). El espacio, en efecto, cumple un papel mediador entre substancias de distinta naturaleza capaz de hacer inteligible el modo como el espíritu finito puede percibir o actuar sobre tal o cual cuerpo. Por la misma razón, el espíritu infinito de Dios, al estar simultáneamente presente en todos los lugares, percibe todo y está en íntimo contacto con todo, actuando sobre el conjunto de los cuerpos (por ejemplo, tal y como llegará a decir ocasionalmente en años posteriores, para incrementar la cantidad global de movimiento que el sistema del mundo es incapaz de conservar por sí mismo o para transmitir la acción de la gravedad). Encontramos, por tanto, ya en el joven Newton los antecedentes de lo que serán sus famosas y discutidas aseveraciones en las "Cuestiones" de la *Óptica* acerca del espacio como "sensorio divino" (a este tema se alludirá en el epígrafe 6.8 de este capítulo).

A partir de lo expuesto hasta aquí, fácilmente se deduce la prioridad indiscutible que Newton otorga al espacio con relación a la materia. De hecho, "si bien podemos imaginar que no haya nada en el espacio, lo que no podemos pensar es que el espacio no exista; al igual que no podemos pensar que la duración [el tiempo] no exista, incluso aunque sea posible concebir que absolutamente nada dure" (Newton, 1978a: 104, trad.: 137 y 138). La materia podría ser aniquilada, o no haber sido creada, sin que ello afecte a la realidad del marco espacial. Pues este último es condición de posibilidad de aquélla, y no al contrario. Ello supone que ha de haber espacio para que pueda haber materia, mientras que ésta en nada afecta a la realidad del recipiente universal en el que está contenida.

Newton se aparta definitivamente de Descartes en lo que se refiere a la cuestión del espacio vacío. Frente al mundo cartesiano de partes de materia siempre en contacto unas con otras por no ser posible la presencia de intersticios vacíos entre ellas, en el *De Gravitatione* se pronuncia a favor de la realidad del *espacio vacío intramundano y extramundano*. Así, limitándonos al mundo que forman el Sol, los planetas y sus respectivos satélites, hay que afirmar que éstos se mueven a través del espacio existente entre ellos sin que ningún tipo de materia les oponga la menor resistencia y sin ser arrastrados por un remolino de éter. En esto consiste el espacio vacío intramundano. Pero incluso más allá de los límites de nuestro mundo, tras el último planeta, un espacio extramundano se extiende hasta el infinito, tanto si otros mundos seme-

to, el espacio va a ser concebido como una estructura continua de puntos, líneas y superficies, un entramado de partes de extensión yuxtapuestas e inseparables entre sí, ya que un hipotético alejamiento unas de otras daría lugar a impensables "huecos" o "agujeros" dentro de esa fina red espacial. En dicha estructura continua se hallan contenidas todas las figuras geométricas (esferas, cubos, triángulos, rectas, etc.), hasta el punto de que "el trazo material de una figura cualquiera no supone la nueva producción de esa figura en el espacio, sino sólo su representación corpórea de manera que lo que antes era imperceptible en el espacio, ahora aparece como existiendo para los sentidos" (Newton, 1978a: 100, trad.: 132 y 133). La extensión continua tridimensional del géometa tiene ahora realidad física. En ella están, aunque no perceptiblemente, las figuras geométricas estudiadas por Euclides y sus sucesores, ya que dichas figuras no son sino el conjunto de puntos, líneas y superficies que constituyen esa realidad del espacio absoluto.

Según esto, *movere* en términos verdaderos y absolutos significa atravesar, en un tiempo dado, una parte o región de este continuo espacial que preexiste a todo móvil. Sólo de esta manera será posible definir la velocidad uniforme y la trayectoria rectilínea, lo que quiere decir que el espacio absoluto permite otorgar un sentido definido a la ley de inercia. Además, al igual que pensaban More y Barrow, el espacio "se extiende hasta el infinito por todos sus lados", "sus partes son inmóviles" y "posee una duración eterna y una naturaleza inmutable". Pero donde se más claramente se pone de manifiesto la afinidad de Newton con las tesis metafísicas del platónico de Cambridge es en textos como el que sigue:

El espacio es una afición del ser en tanto que ser. Ningún ser existe o puede existir sin estar relacionado de alguna manera con el espacio. Dios está en todas partes; los espíritus creados están en alguna parte; el cuerpo está en el espacio que llena; y todo aquello que ni está en todas partes ni está en alguna parte, carece de ser (Newton, 1978a: 103, trad.: 136).

Resulta así que la *ubicuidad* es una propiedad de los seres, tanto materiales como espirituales, e incluso del propio Dios. Todo cuanto existe ha de estar en alguna parte, con la sola diferencia de que, mientras que los seres creados están en *algún* lugar del espacio, Dios está presente simultáneamente en *todos* los lugares a la vez. La *omnipresencia* se revela como un atributo exclusivo de la divinidad. Su presencia se extiende infinitamente, sin que por ello deba suponerse que está constituido por partes divisibles como los cuerpos. Y lo mismo podría decirse de la *duración*: Dios existe eternamente, de modo que la *eternidad* es otro de sus atributos.

jantes al nuestro habitaran en él, como si permanece vacío de todo cuerpo. Y es que la inmensidad del espacio preexiste a cuanto tiene un origen creado.

6.4. Espacio, tiempo y movimiento en los *Principia*

Según se acaba de ver, con anterioridad a 1670 Newton ha afirmado en el *De Gravitatione* la prioridad lógica y temporal del espacio y del tiempo sobre la materia, alejándose así de los planteamientos relacionales cartesianos. A partir de 1680 retomará sus tesis juveniles desarrollando la forma de realismo espacial tan característica de los *Principia*. Concretamente, en el famoso "*Escolio a la Definición VIII*" (Newton, 1987: 127-134), comenzará definiendo explícitamente el espacio y el tiempo absolutos, verdaderos y matemáticos, distinguiéndolos del espacio y tiempo relativos, aparentes y vulgares. Así, en unas de las páginas más citadas, divulgadas y leídas de toda la obra, se afirma lo siguiente:

I. El tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí y por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se llama duración; el relativo, aparente y vulgar es una medida sensible y externa de cualquier duración, mediante el movimiento (sea la medida igual o desigual) y de la que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año.

II. El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil; el relativo es cualquier cantidad o dimensión variable de este espacio, que se define por nuestros sentidos según su situación respecto a los cuerpos, espacio que el vulgo toma por el espacio inmóvil. [...]

III. Lugar es la parte del espacio que un cuerpo ocupa y es, en tanto que espacio, absoluto o relativo. Digo parte del espacio, no situación del cuerpo ni superficie externa. [...]

IV. Movimiento absoluto es el paso de un cuerpo de un lugar absoluto a otro lugar absoluto, el relativo de un lugar relativo a otro lugar relativo. [...]

Del mismo modo que el orden de las partes del tiempo es inmutable, así lo es el orden de las partes del espacio. Si éstas se movieran de sus lugares, se moverían (por así decirlo de sí mismas). Pues el tiempo y el espacio son los cuasi-lugares de sí mismos y de todas las cosas. Todas las cosas se sitúan en el tiempo en cuanto al orden de la sucesión y en el espacio en cuanto al orden de lugar. Es de su esencia el ser lugares y es absurdo pen-

sar que los lugares primeros se muevan. Por tanto, éstos son lugares absolutos y únicamente las traslaciones desde estos lugares son movimientos absolutos.

Más como estas partes del espacio no pueden verse y distinguirse unas de otras por medio de nuestros sentidos, en su lugar utilizamos medidas sensibles. Por las posiciones y distancias de las cosas a un cierto cuerpo que consideramos inmóvil, definimos todos los lugares; posteriormente interpretamos todos los movimientos por respecto a los antedichos lugares, en tanto que los concebimos como pasos de los cuerpos por estos lugares. Así, usamos de los lugares y movimientos relativos en lugar de los absolutos y con toda tranquilidad en las cosas humanas: para la Filosofía, en cambio, es preciso abstraer de los sentidos. Pues es posible que en la realidad no exista ningún cuerpo que esté en total reposo, al que referir lugar y movimiento (Newton, 1987: 127-130).

El tiempo absoluto o duración supone el ininterrumpido orden de sucesión en el que todo acontece, pero de modo tal que el propio tiempo siempre transcurre aunque nada se suceda en él. En el mundo hay cambio, movimiento, evolución, historia, devenir, procesos, porque hay tiempo, y no al contrario. Fluye, por tanto, "sin relación a algo externo", esto es, al margen de toda suerte de sucesos o acontecimientos, que, si son sucesivos, es precisamente porque se dan en el tiempo. Y fluye uniformemente. Aun cuando esto no pase de ser un postulado sin corroboración empírica, difícilmente podría concebirse un tiempo universal que avanzara unas veces más deprisa y otras más despacio. El tiempo abraza todos los fenómenos del universo imprimiendo en ellos un mismo ritmo en lo que a su duración se refiere.

En definitiva, mientras que todo sucede en el tiempo, la realidad de éste no se vería afectada por el hecho de que nada aconteciera en él (cabría en cierto sentido hablar de un tiempo "vacío" de acontecimientos). Independiente de la materia, transcurre eternamente sin principio ni final, pudiendo aseverarse, por tanto, que hubo un tiempo pasado anterior al origen del mundo y habrá un tiempo futuro posterior a una hipotética desaparición del mismo. Ello quiere decir que el comienzo del mundo pudo ser antes o después de lo que efectivamente fue, si Dios así lo hubiera decidido. (El contemporáneo de Newton y conocido filósofo G. W. Leibniz esgrimió importantes argumentos en contra de estas tesis en su correspondencia con el amigo y discípulo de aquél Samuel Clarke. Puede consultarse dicha correspondencia en: Leibniz y Clarke, 1980.)

En cuanto al espacio absoluto, Newton ha defendido en el texto citado que existe con completa independencia de los cuerpos que se alojan en él. Incapaz

de la menor mutación en su naturaleza (¿qué tipo de cambio podría experimentar la pura extensión geométrica?), carece asimismo de todo movimiento. De otro modo sería tanto como plantear que el lugar pueda cambiar de lugar; pero son los cuerpos los que cambian de lugar, no el propio espacio. Por definición éste es inmóvil. Todo está contenido en él como en un receptáculo último, siendo, en consecuencia, el lugar de sí mismo y de todas las cosas.

A la parte de espacio absoluto que está o puede estar ocupada por un cuerpo se denomina *lugar absoluto*. Naturalmente, todas las partes del espacio sin excepción son lugares potenciales de los cuerpos, puesto que, al ser vacío y, por tanto, penetrable, no hay región que no pueda ser ocupada por cualquiera de ellos. De ahí resultará que el universo, en cuanto totalidad, está en un cierto lugar del espacio infinito, pero podría estar en otro. A diferencia del cosmos esférico aristotélico que no estaba en ningún lugar, el mundo newtoniano sí está ubicado en el espacio; e incluso teóricamente hay que admitir la posibilidad de que pudiera ser desplazado por Dios de su actual ubicación (fantástico viaje espacial el que realizaríamos en ese caso sin advertirlo). Y cabe también que Dios hubiera elegido en el momento de la creación una localización diferente de la que de hecho tuvo. (Al igual que en lo relativo al tiempo y al comienzo del universo, Leibniz se opondrá frontalmente a la idea de lugar o cambio de lugar del universo en su conjunto, tal como expondrá en la arriba mencionada correspondencia con Clarke.)

La permanencia de un cuerpo en el mismo lugar absoluto constituye el estado de *reposo absoluto*. El verdadero reposo no se define por relación a ningún tipo de sistema material de referencia, sino por relación al espacio inmóvil. En el antiguo sistema geocéntrico, la Tierra estaba en reposo en el centro del mundo. Es claro que, con respecto a ella, cualquier cuerpo celeste y terrestre se hallaba en reposo o en movimiento, pero no en ambos estados a la vez. La estática Tierra permitía, así, definir unívocamente el estado de cualquier móvil. Y lo mismo sucedía con el Sol de Copérnico, tan inmóvil como la Tierra de Ptolomeo.

Por el contrario, en el sistema del mundo newtoniano, todos los cuerpos interaccionan recíprocamente como consecuencia de la atracción gravitatoria. Luego en ningún caso puede afirmarse que el Sol o el resto de los cuerpos celestes permanecen en reposo. Como bien ha dicho Newton al final del texto citado, "es posible que en la realidad no exista ningún cuerpo que esté en total reposo, al que referir lugar y movimiento" (Newton, 1987: 130). Ello exige acudir al espacio cuando se pretende fijar el estado mecánico de un cuerpo, so pena de no poder superar el relativismo cartesiano (precisamente porque en el mundo de Descartes no hay ningún punto de referencia inmóvil).

Por las mismas razones, el *movimiento absoluto* tampoco se determinará atendiendo al cambio de posición de un móvil con respecto a algún tipo de cuerpo, ni cercano, ni lejano. Newton lo ha definido como "el paso de un cuerpo de un lugar absoluto a otro lugar absoluto" (Newton, 1987: 128). Y puesto que lugar absoluto es "la parte del espacio [absoluto] que un cuerpo ocupa", movimiento absoluto es el paso de una región del espacio a otra, sin que en ello intervenga para nada la distancia relativa entre los cuerpos. Esto quiere decir que tiene sentido atribuir movimiento a un *solo cuerpo* prescindiendo de los restantes, de modo que, si todos fueran aniquilados excepto uno (la Tierra, por ejemplo), no por ello el cuerpo en cuestión dejaría de estar ubicado en algún lugar. Por supuesto, los detractores del espacio absoluto (como Berkeley en la época de Newton, o Mach casi dos siglos después) nunca admitieron tal supuesto: si la Tierra fuera lo único existente, ¿respecto de qué se le atribuiría una posición?

Hasta aquí se ha hablado de tiempo, espacio y movimiento absolutos. Pero se da la circunstancia de que no podemos acceder a ellos experimentalmente. Las partes del tiempo o del espacio verdaderos son de tal naturaleza que están fuera del alcance de nuestras operaciones de observación y medida. Y, sin embargo, medimos intervalos temporales o distancias espaciales. Newton afirma que, cuando esto hacemos, alcanzamos únicamente tiempos y espacios relativos, aparentes y vulgares. Así, en el largo texto reproducido con anterioridad, el tiempo relativo es definido como "la medida sensible y externa de cualquier duración mediante el movimiento", y el espacio relativo es "cualquier cantidad o dimensión variable de ese espacio, que se define por nuestros sentidos según su situación respecto a los cuerpos" (Newton, 1987: 127).

En efecto, medimos el tiempo a partir de algún tipo de movimiento adecuadamente elegido. Puesto que se postula que su flujo es uniforme, conviene que dicho movimiento sea lo más regular posible. No es de extrañar, por tanto, que en general sea el curso de los astros el que se haya tomado como referencia para computar el tiempo. Se da así un círculo vicioso del que no es posible salir: medimos el tiempo gracias al movimiento, pero a su vez precisamos del tiempo para medir el movimiento. Ello pone de relieve que nos desentolvemos en el ámbito de lo relativo, y no de lo absoluto.

Tampoco resulta posible fijar la posición de un cuerpo en el espacio absoluto. Éste no representa un sistema de coordenadas del que podamos hacer uso. Para determinar una posición o una distancia es necesario tener al menos dos cuerpos, uno de los cuales ha de ser considerado inmóvil y tomado como término de referencia a partir del cual conocer la ubicación del otro. Median-

Por el contrario, si también la Tierra se mueve, entonces será preciso sumar a las dos velocidades anteriores la de la propia Tierra en relación con el Sol. En el caso de que este astro estuviera en reposo absoluto aquí terminaría el tema, pero, suponiendo que el Sol se moviera con respecto a las estrellas, tendría de nuevo que añadirse este sumando (la velocidad del Sol relativa a las estrellas). A continuación, una vez más habrá que considerar si las estrellas están en reposo o en movimiento, ya que, si tampoco éstas se mantuvieran estáticas, debería agregarse su velocidad a la serie de las velocidades anteriores. Es evidente que la suma capaz de arrojar como resultado la *velocidad absoluta* del navegante sólo podría concluir si pudiéramos identificar un *sistema en reposo absoluto*. Ahora bien, a Newton le asiste la razón cuando afirma que "es posible que en la realidad no exista ningún cuerpo que esté en total reposo, al que referir lugar y movimiento" (Newton, 1987: 130). Luego no es posible calcular velocidades absolutas.

Toda materia por definición es móvil, de manera que nada autoriza a atribuir a las estrellas el estado de absoluta inmovilidad (a no ser por razones de pura conveniencia práctica). Dicho estado sólo puede ser predicado del espacio, lo cual quiere decir que el movimiento absoluto de un cuerpo ha de establecerse adicionando los diferentes movimientos relativos en el espacio absoluto. En el ejemplo anterior el movimiento verdadero y absoluto del navegante constará de su movimiento en relación con el barco, más el de éste en relación a la Tierra, más el de ésta en relación al Sol, y así sucesivamente hasta llegar al movimiento del último sistema de referencia con respecto al espacio absoluto. Tal como se ha aludido anteriormente, dicho movimiento puede ser así definido, pero no medido, de modo que hablaremos de *movimiento absoluto*, pero no de *velocidad absoluta*, y ello por dos motivos. Primero, porque el número de sumandos sería ilimitado (¿cuál sería el "último" sistema de referencia material a añadir a la serie de los anteriores?). Segundo, porque no es posible medir ningún movimiento en relación a un espacio absoluto que no es perceptible. Toda medida de distancias, así como de intervalos temporales, es relativa.

Llegados a este punto es posible que el lector se esté preguntando por qué introducir el espacio y el tiempo absolutos si carecen de toda operatividad al no permitir la medida de velocidades absolutas. El tema, desde luego, fue muy debatido durante los más de doscientos años que transcurrieron desde la publicación de los *Principia* hasta que la formulación de la teoría relativista de Einstein pusiera fin a ambos absolutos. En vida de Newton, además del filósofo racionalista G. W. Leibniz ya mencionado, el empirista G. Berkeley también se opuso por razones muy distintas a la realidad de espacio y tiempo absolu-

te este procedimiento, por tanto, fijaremos su *lugar relativo*, y también su estado de *reposo* o de *movimiento relativos*. Se comprende así que para Newton: "por las posiciones y distancias de las cosas a un cierto punto que consideramos inmóvil, definimos todos los lugares; posteriormente interpretamos todos los movimientos por respecto a los antedichos lugares, en tanto que los concebimos como pasos de los cuerpos por estos lugares" (Newton, 1987: 129). *Movimiento relativo* es, por tanto, "el paso de un lugar relativo a otro lugar relativo" (Newton, 1987: 129). A su vez, el lugar relativo se define como la posición de un cuerpo en relación a otros arbitrariamente elegidos. Luego el movimiento relativo no es sino cambio de posición de unos cuerpos con respecto a otros (un navegante en relación a la nave en que viaja; ésta con respecto a tierra; la Tierra por relación al Sol, etc.). Sólo él es susceptible de ser medido, de manera que en la mecánica newtoniana toda velocidad es siempre relativa. Se da así la aparente paradoja de que, habiendo movimientos absolutos (desplazamientos en el espacio absoluto de una región a otra), no puede hablarse de velocidades absolutas (determinación del espacio recorrido en cada unidad de tiempo), ya que ello implica medida de distancias y de intervalos temporales, estos, de espacios y tiempos que no pueden ser sino relativos. Exactamente lo contrario de lo que sucederá en la mecánica relativista, la cual, pese a eliminar los movimientos absolutos, establecerá el carácter absoluto de la velocidad de la luz.

En la mecánica newtoniana, cualquier móvil cumple siempre el teorema de adición de velocidades. Ello supone que para conocer la velocidad absoluta de un cuerpo sería necesario sumar vectorialmente *todas* sus velocidades relativas, lo cual es imposible. Lo único que sí resulta factible es *definir (no medir)* el movimiento absoluto por la suma vectorial de sus movimientos relativos. Supóngase una nave que se desplace por el mar en una Tierra considerada en *reposo absoluto*. Si el navegante se mantiene en la misma región del barco, diremos que se halla en reposo relativo con respecto al barco, pero en movimiento con respecto a la Tierra, ya que viaja junto con el barco de un puerto a otro. En cambio, si nuestro viajero a su vez se mueve dentro del barco, su movimiento en relación con la Tierra será el resultado de sumar vectorialmente ambos movimientos (el suyo respecto del barco y el del barco respecto de la Tierra). En ese supuesto podría cuantificarse el movimiento resultante, es decir, se podría medir su velocidad absoluta, pues no hay dificultad en conocer la velocidad con la que el viajero se desplaza dentro del barco, ni tampoco la velocidad con la que el barco lo hace en relación con la Tierra. Pero téngase en cuenta que la velocidad hallada no sería absoluta si el sistema de referencia (la Tierra, en este caso) no permanece absolutamente inmóvil.

tos, poniendo en juego argumentos que preludian los que a finales del siglo XIX empleará E. Mach (Berkeley, 1993 y Mach, 1949).

Sin embargo, tanto el propio Newton como sus seguidores creían disponer de importantes argumentos a su favor, que, simplificando la cosas, podrían reducirse a dos clases. Unos se refieren al espacio y tiempo verdaderos en cuanto a prerequisites de la ley de inercia. Otros tienen que ver con la imposibilidad de relativizar aquellos estados mecánicos en los que intervienen fuerzas (acciones), de modo que, al menos para dichos estados, se hace necesario definir marcos absolutos de referencia.

Quien expuso con más claridad la primera clase de argumentos no fue el propio Newton, sino Leonhard Euler, del que nos ocuparemos en el próximo epígrafe. En cambio, la segunda clase de ellos se contiene en los *Principia*, y concretamente en las páginas del "Escolio a la Definición VIII" que venimos comentando y al que regresaremos en el epígrafe 6.6.

6.5. Espacio, tiempo e inercia en Leonhard Euler

La ley de inercia o primera ley de la Naturaleza establece la perseverancia de todo cuerpo en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que se vea obligado por fuerzas impresas a modificar dicho estado. El problema que se plantea es el del sistema de referencia respecto del cual se ha de determinar tanto el *reposo* como la *rectilíneidad* y *uniformidad* del movimiento inercial. Pues, si se trata —tal como piensa Newton— de una ley de validez universal, el mencionado sistema de referencia no puede ser relativo. Es evidente, por ejemplo, que un movimiento sobre la superficie de la Tierra que parezca rectilíneo a un observador vinculado a dicho planeta, no sería así descrito por otro observador que siguiera esa trayectoria desde otro planeta, ya que en este segundo caso no participaría del giro de aquélla. De manera que, si se quiere dar un significado inequívoco y exacto al principio de inercia, será necesario referir el comportamiento de los cuerpos al espacio absoluto (y al tiempo absoluto).

Ésta es la tesis defendida por el gran matemático suizo Leonhard Euler (1707-1783), acérrimo defensor de las posiciones newtonianas en esta cuestión (e implacable crítico de los partidarios tanto de Descartes como de Leibniz) en una famosa memoria presentada ante la Academia de Ciencias de Berlín más de veinte años después del fallecimiento de Newton, concretamente en 1748, con el título *Reflexions sur l'espace et le temps* (*Reflexiones sobre el espa-*

cio y el tiempo. En: Euler, 1985: 39-51). En dicha memoria, Euler manifiesta explícitamente que, si el principio de inercia puede considerarse como una "verdad indiscutible" bien establecido por la mecánica, entonces no cabe sino admitir la realidad del espacio y del tiempo absolutos (sobre la noción de espacio en Euler, véase Euler, 1985: 19-28 y Rioja, 1984: 298-313).

Analizando en primer lugar la noción de *reposo*, Euler criticará (cuando había transcurrido ya un siglo desde la muerte de Descartes) que dicha noción pueda ser adecuadamente definida si se toman como término de referencia los cuerpos circundantes de aquél cuya posición se trata de determinar. Pues, tal como planteó Newton con todo acierto, un cuerpo puede mantener su posición con respecto a los que lo rodean, bien porque unos y otros permanezcan en reposo (por ejemplo, en un agua estancada), bien porque todos ellos se muevan conjuntamente, no modificando sus distancias relativas (debido a que el agua hubiera empezado a correr; ése sería el caso de la Tierra cartesiana en el éter). Ahora bien, en este último supuesto sería necesario que una fuerza actuara sobre el cuerpo, ya que, de lo contrario, debido a la propiedad de la materia que llamamos *inerzia*, el mencionado cuerpo permanecería en reposo tanto en un agua estancada como en un agua que fluye (aquí la propia corriente sería la que ejercería una fuerza de empuje sobre el cuerpo en cuestión).

En consecuencia —concluye Euler— la conservación de su estado de reposo no se rige por los cuerpos que lo rodean inmediatamente. De ello se deriva que lo que se denomina *lugar* en mecánica, no admite la explicación de la metafísica [cartesiana], según la cual el lugar no es sino la relación del cuerpo con respecto a los que lo rodean (Euler, 1985: 44).

Mediante este principio [de inercia] se establece que un cuerpo que se encuentre en algún lugar sin movimiento, permanecerá en él perpetuamente, a menos que sea desplazado por alguna fuerza extraña. En este caso, por tanto, el cuerpo permanecerá siempre en el mismo lugar por relación al espacio absoluto (Euler, 1985: 42).

La inercia no se rige por los cuerpos vecinos, y también hay que excluir que sean cuerpos alejados, como las estrellas fijas, los que dirijan esa inercia de la materia. La conservación del estado de los cuerpos no puede estar gobernada por la relación de unos cuerpos por otros.

Si en vez de atender al reposo, consideramos ahora el *movimiento uniforme en la misma dirección*, Euler extrae idéntica conclusión en lo que al espacio y al tiempo se refiere. "Pues, si el espacio y el tiempo no fueran más que la