

01048 4



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS**

**MATERIA Y MOVIMIENTO EN LAS
FILOSOFÍAS NATURALES DE DESCARTES
Y NEWTON**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN
FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**PRESENTA:
BEATRIZ LORÍA LAGARDE**

UNAM, 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradezco infinitamente a todos mis asesores:

A la Dra. Benítez, por todo... difícilmente se puede conjuntar una excelente asesora y una gran persona. Gracias mil.

Al Dr. Robles por sus numerosísimos y siempre pertinentes comentarios.

A Carmen por su comprensión y apoyo no sólo en este trabajo sino durante todo el tiempo que asistido al Seminario.

A Zuraya por su calidez y su dirección precisa.

A Alejandra por ser no sólo una gran maestra sino una amiga.

Por otra parte, dedico este trabajo:

A mis pequeños que compartieron
y comparten conmigo su estancia en el planeta..
mil gracias por su compañía..

Y a ti Mario. A quien simplemente no puedo definir.

ÍNDICE

Introducción.....	3
1. La filosofía natural de Descartes.....	6
1.1 Las ideas básicas.....	7
1.1.1 La homogeneidad de la materia.....	8
1.1.2 La materia como extensión.....	11
1.1.3 La cosmología cartesiana.....	12
1.1.4 El plenismo.....	14
1.2 Los cuerpos y sus propiedades.....	16
1.2.1 Los cuerpos.....	16
1.2.2 Las propiedades de los cuerpos.....	19
1.3 El movimiento.....	24
1.3.1 El movimiento en el pleno.....	24
1.3.2 La traslación de los cuerpos y la relatividad del movimiento.....	27
1.3.3 Las causas del movimiento.....	29
1.3.4 Los efectos del movimiento.....	32
1.3.5 La teoría de los vórtices.....	36
1.4 La inercia cartesiana.....	38
2. La controversia sobre la filosofía natural cartesiana.....	45
2.1 La difusión del cartesianismo a través del <i>Tratado</i> de Rohault.....	45
2.2 La transformación del <i>Tratado</i> de Rohault a manos de Clarke.....	51
2.3 El fin de la controversia entre cartesianos y newtonianos.....	56
3. La filosofía natural de Newton	62
3.1 <i>De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum</i>	62
3.1.1 Acerca del movimiento.....	64
3.1.2 Acerca del espacio.....	74
3.1.3 Acerca de la materia.....	82
3.1.4 Las fuerzas.....	89

3.2	<i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i>	93
3.2.1	El movimiento planetario antes de los <i>Principia</i>	95
3.2.1.1	La concepción del movimiento planetario como debido a las fuerzas centrífugas y la presión del éter.....	96
3.2.1.2	El movimiento planetario debido a la inercia y a la acción de las fuerzas centrípetas.....	101
3.2.2	El movimiento planetario en los <i>Principia</i>	108
3.2.2.1	Las fuerzas.....	108
3.2.2.2	La materia.....	111
3.2.2.3	Las leyes del movimiento.....	112
3.2.2.4	La gravitación universal.....	116
3.2.3	El espacio, tiempo y movimiento absolutos.....	119
	Conclusiones	128
	Bibliografía	135

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la ciencia, la tendencia ha sido considerar la física de Descartes (1596-1650) como claramente inferior a la de Newton (1642-1727) y como radicalmente divorciada de lo que sería la física clásica consolidada.

Una de mis intenciones en este trabajo es matizar esta concepción. Intentaré mostrar que la física de Descartes no era, al menos en su tiempo, obviamente inferior a la de Newton. Además indicaré cómo, a mi juicio, a Descartes se le debe, al menos en su base filosófica, que la física clásica se haya configurado de la manera en que lo hizo. Además, señalaré, a menudo en notas breves, que en nuestros días algunas de las ideas cartesianas –aun tras haber pasado la crítica newtoniana- son en alguna medida las vigentes.

Para sustentar esta propuesta empleo, como procedimiento, la exposición de la línea de pensamiento que va de Descartes a Newton en lo referente a la filosofía natural. También menciono algunos cauces que tomó esta línea de pensamiento en la física posterior. Toda esta exposición la hago a partir del análisis de las fuentes directas cartesianas y newtonianas,¹ así como de autores contemporáneos a estos filósofos naturales y, por último, de autores de la época actual. Los aspectos fundamentales de las filosofías naturales de Descartes y Newton que comentaré son los concernientes a las nociones de movimiento, espacio, materia y fuerza, con un énfasis especial en la primera.

¹ En el caso de Descartes los escritos que analizaré primordialmente son *El Mundo o tratado de la luz* y los *Principios de la filosofía*. En el caso de Newton, *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* y los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*.

En el capítulo 1 expondré la explicación del movimiento en el pleno cartesiano y su fundamentación metafísica en la concepción cartesiana de la materia, que implica un plenismo. También se expone la concepción, muy moderna, de la relatividad del movimiento en Descartes. Asimismo, expondré tanto los logros que este tipo de explicación alcanzó como algunas de las dificultades a las que se enfrentó. De esta manera, daré una panorámica general de la filosofía natural de Descartes con el fin de poder ver cómo, si bien la explicación de la naturaleza a partir de la homogeneidad material tenía el mérito de ser totalizadora además de intuitiva, por otro lado, también fue objeto de numerosas críticas y objeciones.

En el capítulo 2 explico algunas facetas históricas del tránsito de la concepción cartesiana a la newtoniana y los obstáculos a los que la nueva manera de ver el mundo se enfrentó hasta ser aceptada ampliamente. En este capítulo presento la larga transformación que sigue el *Tratado* de Rohault (1620-1672), un tratado escrito por su autor para la difusión del cartesianismo, hasta convertirse, por obra de las notas de su traductor al inglés, Samuel Clarke (1675-1729) en un escrito en que se expondría la concepción newtoniana de la naturaleza. Asimismo, presento las observaciones que otros autores plantearon con respecto al tránsito del cartesianismo al newtonianismo. Esto servirá para mostrar que la filosofía natural cartesiana no sucumbió del todo a los embates de la nueva física.

En el capítulo 3 abordaré tanto la crítica que el propio Newton hace al sistema cartesiano como la consolidación de su propio sistema en filosofía natural. Parte fundamental de este capítulo es una síntesis de la crítica que Newton dirige en contra de las tesis del movimiento cartesiano. Me detendré especialmente en

cómo, basándose en esta crítica, Newton define el espacio y el movimiento en sus propios términos. Por otra parte, en este mismo lugar doy cuenta de algunos de los avances obtenidos por otros filósofos naturales de la época y cómo estos avances contribuyeron tanto a la consolidación del sistema de Newton como a la aceptación de su 'ley de la Gravitación Universal'.

Como conclusión de este trabajo haré una reflexión sobre algunas de las nociones newtonianas que trascendieron a su tiempo, así como de las que no resistieron la llegada de la física relativista, v.g. el espacio y el tiempo absolutos, mostrando de paso que los postulados generales de la física relativista implican, en cierto sentido, el retorno a algunos aspectos de la concepción cartesiana del movimiento.

Antes de ponerle punto final a esta *Introducción* creo pertinente señalar que en este trabajo no pretendo hacer una evaluación completa de las teorías cartesianas o newtonianas, sino únicamente un rastreo sucinto que pretende ser útil, por lo compacto, para la comprensión de la evolución de las concepciones de materia y movimiento de Descartes y Newton y de algunas conexiones de dichas concepciones con las ideas físicas de nuestros días.

1. LA FILOSOFÍA NATURAL DE DESCARTES

En este primer capítulo haré un análisis de los aspectos fundamentales de la filosofía natural de Descartes. Esta exposición servirá luego de base para presentar los aspectos análogos de la filosofía natural de Newton, así como las críticas de éste a Descartes. La exposición de este capítulo se centrará sobre todo en los principios cartesianos, pero también haré ocasionalmente mención preliminar de algunas dificultades que parecen derivarse de estos principios, sobre todo dificultades vistas por Newton y otros autores de la época.² Entre los autores a quienes hago referencia están Henry More (1614-1687) y Leibniz (1646-1716). De todos modos, insisto en que las objeciones que Newton y estos autores plantean a Descartes son mencionadas sólo de paso en este capítulo. Serán analizadas con algo más de detalle en el capítulo 3.

Los aspectos de la filosofía natural cartesiana que voy a exponer pertenecen principalmente a la física, tal como Descartes la desarrolla sobre todo en *El Mundo o tratado de la luz* y en los *Principios de la Filosofía*. Sin embargo, en ciertas partes mencionaré algunas ideas cartesianas que no pertenecen estrictamente a la física. Aun sin tener relación directa con los problemas que aquí me van a ocupar, ayudarán a enmarcar y clarificar mi exposición de la física de Descartes.

Por otra parte, también haré referencia en su momento a cierta terminología que en Descartes no tiene el mismo sentido que en la actualidad, lo cual es

² Asimismo, mencionaré algunas críticas que sólo se han formulado con claridad posteriormente en la sección 1.3.

importante tener en mente, a fin de no incidir en interpretaciones radicales que no hacen justicia al proyecto cartesiano.

1.1 Las ideas básicas

Dos son los escritos de Descartes en los que se desarrolla principalmente su física y su cosmología. El primero es *El Mundo o tratado de la luz*. Este tratado fue redactado hacia los años 1629-1633; sin embargo, permaneció inédito hasta 1664, esto es, catorce años después de la muerte de Descartes, debido a que éste, enterado de la condena de Galileo, decidió no publicarlo en vida (debido quizá a que en él, al igual que Galileo, sostiene que la Tierra se mueve).

El segundo escrito al que me referiré son los *Principios de la Filosofía*, publicados en latín en 1644 y traducidos al francés y nuevamente publicados en 1647. Los *Principios*, al igual que *El Mundo*, es una obra copernicana, razón por la cual puede sorprender en principio que Descartes se decidiera a publicarla. Sin embargo, los *Principios* presentan una diferencia fundamental con respecto al *Mundo*. Mientras en *El Mundo* se defendía el movimiento de la Tierra en torno al Sol, en los *Principios* se afirma que si bien la Tierra se mueve con relación al Sol, permanece en reposo respecto a la materia que la circunda. En la subsección 1.3.5 se considerará con más detalle esta cuestión.

Para profundizar en la física de Descartes y su cosmología, comenzaré por las tres tesis principales que en mi opinión subyacen a su explicación del mundo natural: la homogeneidad (constitutiva y funcional) de la materia, la idea de la

materia como sustancia extensa y el plenismo. También mencionaré las ideas básicas de la cosmología cartesiana. Comienzo por la homogeneidad material.

1.1.1 La homogeneidad de la materia

Descartes adopta resueltamente la idea moderna, cuyo desarrollo se debe a él en gran medida, según la cual el mundo natural (a diferencia del alma humana) está constituido por una materia única, con ciertas características en común con el éter de los antiguos y en particular, de Aristóteles (384-322 a. C.).

Aristóteles y otros muchos autores antiguos y medievales habían pensado que el mundo sublunar estaba constituido por una materia variada e irregular, con potencialidades inherentes múltiples y sólo accesibles al conocimiento humano por medio de conceptos no matemáticos. Por ejemplo, de acuerdo con Aristóteles los cuerpos que tenían una mayor proporción de los elementos agua o tierra eran considerados 'pesantes' o 'graves', con tendencia a moverse hacia abajo y los cuerpos compuestos de los elementos aire y fuego eran considerados 'leves' o 'ligeros', con tendencia a moverse hacia arriba. Así se explicaban la caída de los graves y el ascenso del vapor de agua, por ejemplo.

Por otro lado, esos mismos autores habían pensado que el mundo supralunar estaba constituido por una materia distinta, a menudo llamada éter, con propiedades mucho más regulares y susceptibles de ser conocidas y sistematizadas y en particular, conocidas matemáticamente. En concreto, los movimientos de los astros que se trasladaban en el ámbito supralunar eran predecibles con un grado notable de precisión en el sistema ptolomeico de

círculos y epiciclos, que sólo usaba conceptos puramente geométricos en su presentación.

Descartes unifica en su física la constitución material de los mundos sublunar y supralunar, y lo hace proponiendo que la materia es la misma en los dos mundos. La materia es *homogénea*.³ Pero más aún, Descartes propone que esa materia, que es la misma en los dos mundos, es en lo fundamental más parecida a la materia supralunar de los antiguos que a la sublunar. En concreto, la materia de Descartes es algo susceptible de ser conocido por medio del estudio de conceptos básicamente matemáticos o con correspondencias simples con ideas matemáticas: las propiedades métricas como la longitud, el número y la forma, el movimiento como traslación de partes de la materia identificadas geoméricamente, etc.

Naturalmente, es importante señalar que estas tesis cuantitativas acerca del conocimiento del mundo material no aparecen por primera vez en Descartes. Hay precedentes antiguos y modernos. Entre estos últimos cabe mencionar a Nicolás de Cusa (1401-1464) y a Galileo Galilei (1564-1642).⁴ Sin embargo, creo que puede decirse que el primer autor que ofrece una defensa filosófica sustantiva de estas ideas, y el responsable en gran medida de su aceptación en la Edad Moderna (debido precisamente a la profundidad de aquella defensa) es Descartes.

³ No debe confundirse la tesis de la homogeneidad de la materia con la tesis de que la materia posee una sola naturaleza o propiedad esencial, una tesis también mantenida por Descartes pero no por otros autores que sostienen la tesis de la homogeneidad (en el caso de Descartes, ese único atributo esencial es la extensión, como subrayaré de inmediato).

⁴ Para conocer un poco más acerca de las tesis cuantitativas galileanas, retomadas por Descartes para el estudio del mundo natural, véase José A. Robles, "Inteligibilidad y

Según Descartes, el verdadero conocimiento de la naturaleza se da a partir de las propiedades matemáticas mencionadas, y no a partir de conceptos no matemáticos, como las cualidades sensibles o las clases naturales de Aristóteles y otros autores antiguos y medievales. La importancia de concentrarse en este tipo de propiedades radica en que se creará un marco que hará posible la aparición de teorías dentro de las cuales se podrán describir y predecir, con mayor precisión que hasta entonces, muchos fenómenos físicos.

Los cambios en el mundo natural son para Descartes el resultado del movimiento de las partes de la materia homogénea. Al adoptar esta tesis, el modelo de predicción de los cambios en el mundo natural se hacía fundamentalmente diferente del modelo antiguo, pues en el nuevo modelo bastaba atenerse a la descripción geométrica del movimiento, sin tener que especular cómo se comportaría un cuerpo según sus propiedades sensibles o su naturaleza intrínseca. De esta manera, la tesis de la homogeneidad, junto con la tesis de que el cambio es el resultado del movimiento de las partes de la materia homogénea, implica una tesis más general, a saber, lo que podríamos llamar la 'homogeneidad funcional' de la materia: todos los fenómenos pueden explicarse a partir de un patrón único u homogéneo con base en la materia. La primera tesis de la homogeneidad puede llamarse también la tesis de la 'homogeneidad constitutiva material' de la materia, para distinguirla de la tesis de la homogeneidad funcional.

El siguiente texto resume las tesis principales que hemos expuesto en esta subsección:

cualidades sensibles: de Descartes a Berkeley o de la resurrección de las cualidades secundarias", *Diánoia*, vol 44, UNAM, México, 1998, pp. 33-61.

Así pues, la materia que existe en todo el universo es una y la misma, puesto que en cualquier caso sólo la conocemos por extensa. Y todas las propiedades que percibimos claramente en ella se reducen a que es divisible en partes, a que estas partes son móviles, y por lo tanto a que es susceptible de todas las modificaciones que percibimos que pueden seguirse del movimiento de estas partes. Pues la división que se hace con el pensamiento, no cambia nada, sino que toda variación o diversidad en las formas de la materia depende del movimiento.⁵

En su explicación de cómo se da el movimiento a partir de una 'materia única', Descartes apela a lo que se conoce como su *mecanicismo*. Según él, el universo está conformado por partes de la materia única, pero éstas son de diferentes tamaños y figuras y viajan a distintas velocidades, colisionando entre ellas y produciendo con ello movimientos y cambios en general. El mecanicismo cartesiano sostiene la tesis de que los movimientos y cambios se deben a estos choques y colisiones. Veremos luego con algo más de detalle cómo el movimiento para Descartes es de índole mecanicista. A continuación trataré brevemente de la naturaleza de la materia homogénea.

1.1.2 La materia como extensión

Según Descartes,

...percibiremos que la naturaleza de la materia, es decir del cuerpo en general, no consiste en ser una cosa dura, o pesada o coloreada, o que afecte a los sentidos de algún otro modo, sino sólo en *ser una cosa extensa en longitud, anchura y profundidad*.⁶

Así pues, Descartes no sostiene meramente que la materia es homogénea y que es cognoscible a través de las propiedades métricas y el movimiento de sus

⁵ *Principios de la Filosofía* 2:23, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Edición de E. López y M. Graña, Gredos, Madrid, 1989, p. 87.

⁶ *Principios de la Filosofía* 2:4, en la edición citada, p. 75. (Las cursivas son mías.)

partes, sino que sostiene que la naturaleza esencial de la materia se agota precisamente en el atributo de ser extensa.

La razón de esta afirmación de Descartes hay que buscarla seguramente en su metafísica, estrechamente ligada a su epistemología. Según éstas, un fundamento apropiado para la distinción entre atributos esenciales de la sustancia y atributos accidentales es que la sustancia se puede concebir clara y distintamente sin los atributos accidentales pero no a la inversa. Ahora bien, según Descartes, la extensión se puede concebir sin ninguno de los atributos de dureza, peso, color, etc. (que más tarde se llamarán 'cualidades secundarias'), mientras que ninguno de éstos se puede concebir sin la extensión. Como Descartes no ve ningún atributo de la materia que se pueda concebir sin los demás, salvo la extensión, ésta se constituye en el atributo esencial de la materia. La materia es de hecho -es decir, se identifica con- sustancia extensa.

La idea de que la materia es extensión y nada más, será una de las propuestas más problemáticas de la física cartesiana desde el punto de vista del newtonianismo, que como es sabido atribuirá también, por ejemplo, la propiedad esencial de la impenetrabilidad a la materia.⁷

1.1.3 La cosmología cartesiana

En *El Mundo o tratado de la luz*, Descartes escribe que en el origen del universo Dios creó la materia y la puso en movimiento, y que, en un principio, i.e.,

⁷ Mencionaremos en la siguiente nota que Descartes parece haber creído que la impenetrabilidad se sigue de la extensión, pero no parece haber hecho explícita esa derivación.

antes de que la hubiera puesto en movimiento, ésta era un bloque homogéneo, inerte y totalmente sólido:

Para considerar esta materia en el estado en que hubiera podido estar antes de que Dios comenzara a moverla, la debemos imaginar como el cuerpo más duro y más sólido que haya en el mundo.⁸

Sin embargo, en el momento mismo en que Dios puso la materia en movimiento, ésta se fraccionó, dando ocasión a que se creara la diversidad de formas bajo las cuales se nos presentan los objetos del universo:

Agreguemos a esto que esta materia puede dividirse en todas las partes y según todas las figuras que podamos imaginar; y que cada una de sus partes es capaz de recibir en sí todos los movimientos que podamos también concebir. Y supongamos, además, que Dios la divide verdaderamente en muchas partes determinadas, las unas más grandes, las otras más pequeñas; las unas de una figura, las otras de otra, tal como nos plazca (...) Pensemos que toda la distinción que hace ahí, consiste en la diversidad de los movimientos que da a las partes, haciendo que desde el primer instante que son creadas, las unas comiencen a moverse de un lado y las otras de otro, las unas más rápido y las otras más lentamente y que continúen después su movimiento ateniéndose a las leyes ordinarias de la naturaleza.⁹

Además, esta materia, una vez fraccionada en partes de diversos tamaños, adquirió la cantidad de movimiento que aún hoy conserva:

⁸ *El Mundo o tratado de la luz*, capítulo 8. Traducción, introducción y notas de Laura Benítez, UNAM, México, 1986, p. 95. Descartes habla en *El Mundo* de que la materia es esencialmente no sólo extensa sino sólida y dura (para una atribución de solidez esencial véase *op.cit.* p. 79), por lo cual seguramente cabe entender (al menos en parte) que es impenetrable (no "dura" en el sentido que esta palabra tiene en el pasaje de los *Principios* citado más arriba, cualquiera que sea este sentido, puesto que en este pasaje la dureza no es algo esencial mientras que en el pasaje de *El Mundo* sí lo es). En correspondencia con Henry More (véase J. Cottingham, *A Descartes Dictionary*, Blackwell, Oxford, 1993, p. 61), Descartes dice que una consecuencia de que la materia sea extensa es que es impenetrable (también esencialmente), aunque por lo que yo sé no hace la derivación explícita, y la conexión de las nociones de extensión e impenetrabilidad en los *Principios* es oscura.

⁹ *Op.cit.*, capítulo 6, p. 79. Véase asimismo *Principios de la Filosofía* 2:23.

Del hecho de que Dios es inmutable, y que al actuar siempre del mismo modo produce siempre el mismo efecto, se puede suponer que ha puesto cierta cantidad de movimiento en toda la materia en general desde el primer momento que la creó, y es necesario reconocer que la conserva siempre igual.¹⁰

(La cantidad de movimiento es en Descartes el producto de la cantidad de materia por la cantidad de rapidez -velocidad escalar, no dirigida. Volveremos sobre estos conceptos más adelante.)

1.1.4 El plenismo

En el mismo *Mundo* Descartes nos dice que cuando Dios creó el universo lo hizo sin dejar ningún lugar vacío:

Penetremos en [la infinitud] sólo hasta que podamos perder de vista todas las criaturas que Dios hizo hace cinco o seis mil años; y después de habernos detenido ahí, en un lugar determinado, supongamos que Dios crea de nuevo, a todo nuestro alrededor, tanta materia que, de cualquier lado que nuestra imaginación se pueda extender ya no perciba ningún lugar vacío.¹¹

La no existencia de lugares vacíos subsiste posteriormente a la creación y a la impartición divina del movimiento inicial. La tesis de que no existen lugares vacíos se conoce como *plenismo*.

En realidad, la no existencia del vacío no se debe a una evolución contingente de la materia después de que Dios la pusiera en movimiento. La no existencia del vacío se debe a la naturaleza misma de la materia, que es lo mismo que la extensión. Todo ha de estar lleno de materia, pues concebir algún vacío equivale a hablar de que la 'nada' existe y suponer la nada es suponer una contradicción:

¹⁰ *Op.cit.* capítulo 7, p. 88. Véase asimismo *Principios de la Filosofía* 2:36.

¹¹ *Op.cit.* capítulo 6, p. 77. Véase asimismo *Principios de la Filosofía* 2:21.

Es contradictorio que se dé el vacío, es decir, aquello en lo que no hay absolutamente nada. En cuanto al vacío, entendido en sentido filosófico, esto es, aquello en lo que no hay ninguna substancia (*sic*) en absoluto, es evidente que no puede darse, porque la extensión del espacio o lugar interno no difiere de la extensión del cuerpo. En efecto, así como concluimos correctamente que un cuerpo es una substancia por el solo hecho de ser extenso en longitud, anchura y profundidad, pues es contradictorio que la nada tenga extensión, también hay que concluir que hay substancia en el espacio que se supone vacío, puesto que en él hay extensión.¹²

Nótese que Descartes define el vacío (“en sentido filosófico”) como aquello en lo que no hay sustancia alguna. Quizá la existencia de algo así sea efectivamente contradictoria. Y también parece contradictorio suponer que hay un espacio vacío, si por esto se entiende meramente un espacio que no ocupe extensión. Pero no es completamente claro que la tesis de la existencia del vacío haya sido concebida así por todos los autores que nos interesan en esta tesis.¹³

El plenismo que subyace de manera esencial al sistema natural cartesiano, tiene una función explicativa, al igual que la tesis de la homogeneidad material. Esta función la cumple al posibilitar el mecanicismo cartesiano, mencionado anteriormente. La idea es que en un mundo sin lugares vacíos el movimiento y su transmisión han de poder producirse sin mediación de ningún otro mecanismo que el de la sucesión de colisiones entre cuerpos contiguos. En un mundo con vacíos, el movimiento de un cuerpo a través del vacío sólo puede explicarse por medio de la operación de algún otro principio que opere durante el movimiento. La inexistencia del vacío es pues lo que hace que sea posible que se dé el movimiento (y los fenómenos) en el universo. Como se verá en el capítulo 3, este

¹² *Principios de la Filosofía* 2:16, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 83.

plenismo será una de las tesis que Newton criticará a Descartes, alegando que el que el universo esté lleno de materia hace aparentemente imposible que se pueda concebir el movimiento en un sitio donde no hay espacio hacia dónde un cuerpo pueda desplazarse.

1.2 Los cuerpos y sus propiedades

1.2.1 Los cuerpos

Como se mencionó en la sección anterior, para Descartes la extensión es el único atributo esencial de la materia, lo que equivale a identificar ésta con la extensión. Esta identificación lo conducirá a muchos problemas en el plano de sus explicaciones físicas.

Obsérvese que si el mundo es materia y la propiedad esencial de ésta es la extensión, entonces el mundo es continuo, dado que la extensión lo es. De esta observación se sigue nuevamente la no existencia del vacío, es decir, el plenismo.

Pero Descartes sostiene que el mundo es asimismo discreto, debido a que la materia es divisible. En el momento mismo en que Dios la creó, la puso en movimiento, haciendo que el bloque inerte y continuo se fraccionara;¹⁴ lo cual dio lugar a las diversas partes que constituyen los cuerpos del mundo físico actual.

¹³ Algunos autores que parece no entendieron la noción de vacío como Descartes, son Boyle, Hooke y Newton. A ellos me referiré en el tercer capítulo, en la sección que corresponde a los *Principia Matemática*.

¹⁴ Ésta es también la lectura de W. R. Shea, *La magia de los números y el movimiento. La carrera científica de Descartes*, Alianza, Madrid, 1993, p. 369. Sin embargo, de acuerdo a

Al afirmar que el mundo es tanto continuo como discreto, Descartes cae, al menos a primera vista, en paradojas, o al menos en dificultades conceptuales. ¿Cómo explicar que haya cuerpos materiales si toda la materia es uniforme, dado que su naturaleza es la extensión? Pero, aun suponiendo que podamos concebir cómo se individualizan los cuerpos dentro de la extensión, ¿cómo entenderemos que haya movimiento de los cuerpos en un continuo material? Trataré brevemente esta cuestión de la inteligibilidad del movimiento en el continuo en la siguiente sección, y dedicaré lo que resta de la presente subsección a la primera pregunta. De todos modos, como se verá, las respuestas cartesianas a ambas preguntas se imbrican.

Descartes cree poder responder a la pregunta acerca de la razón de la existencia de cuerpos materiales por medio de su teoría de los elementos. Esta teoría explica la naturaleza de las partes de la materia o corpúsculos que se originaron a consecuencia del fraccionamiento del bloque inerte. Descartes sostiene en *El Mundo* que, entre las cualidades de la materia que se han supuesto, se halla la de que sus partes han tenido diferentes movimientos desde el momento en que fueron creadas (y movidas por Dios) y, además de esto, que se tocan recíprocamente por todas partes sin que haya ningún vacío entre dos de ellas, también desde el principio. Desde entonces, al comenzar a moverse, comenzaron también a diversificar sus movimientos por el encuentro de unas con otras.¹⁵

Ana Rioja y Javier Ordóñez, Dios crea la materia ya fraccionada. Cfr. *Teorías del Universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999, pp. 127-130.

¹⁵ Cfr. *El Mundo*, capítulo 7, p. 83.

En otro pasaje de *El Mundo*, Descartes sostiene que en el comienzo del mundo se debe suponer que hubo toda clase de desigualdades entre las partes de la materia con disposición a moverse o no moverse de todas las maneras y en todos los sentidos. Con lo que moviéndose y chocando unas con otras, fueron dividiéndose y adquiriendo diferentes velocidades, formando así los elementos que constituirían los diversos cuerpos del mundo físico: el primero compuesto por partículas pequeñísimas y extremadamente móviles, *capaces de llenar perfectamente cualquier espacio*; el segundo compuesto por partículas algo más grandes y redondas; el tercero compuesto por partículas grandes y de formas variadas, incluso irregulares.^{16,17}

¹⁶ Cfr. *El Mundo*, capítulo 8, pp. 97-98. Véase también *Principios de la Filosofía*, 3:52, en Descartes, *Los principios de la filosofía*, edición de G. Quintás, Alianza, Madrid, 1995. Supongamos que esto fuera suficiente para explicar que el mundo es discreto, además de la formación del Universo. Aun así, la explicación anterior da lugar a nuevas dificultades. Por ejemplo, no deja claro hasta qué punto es que estas partes habrían de dejar de moverse para no chocar a fin de no reducirse todas al primer elemento (concediendo el supuesto de que la materia una vez que existe, no puede desaparecer).

¹⁷ Descartes habla de los tres elementos como fuego, aire y tierra. El primer elemento (fuego) se da en los cuerpos luminosos, cuyo efecto es la luminosidad (Sol y estrellas). El tercer elemento (tierra) se manifiesta en los cuerpos opacos, i.e., aquellos que únicamente reflejan la luz (planetas y cometas). El segundo elemento (aire) constituye el medio en el cual se da la acción luminosa y explica, además, todos los fenómenos de la refracción.

Así, las partículas más pequeñas y veloces constituyen el elemento fuego que se encuentra no sólo en el Sol y las estrellas, sino en todos los cuerpos, en los que llena los intersticios entre las partículas redondas y más grandes del elemento aire y las más voluminosas del elemento tierra. En Descartes el agua pierde su categoría tradicional de elemento, y se asimila al elemento fluido aire o líquido sutil.

La distinción cartesiana de los tres elementos no se da en términos de elementos en el sentido tradicional, esto es, cualitativamente distintos, donde cada uno tenga una forma sustancial diferente (aunque Descartes mantenga la nomenclatura clásica). La diferencia está dada por la figura, tamaño, disposición de las partes y velocidad; al tocarse los elementos puros se originan los cuerpos mezclados. (De cualquier manera es importante señalar que hay influencias de la época en cuanto a la naturaleza y el número de los elementos cartesianos, así como sobre las tesis acerca del intercambio, mezcla y divisibilidad de la materia, según expone J. Lynes en su artículo "Descartes' theory of elements from *Le Monde* to the *Principes*", *Journal of the History of Ideas*, vol. 43, 1982, p. 57.)

Muchos autores no concedieron suficiente plausibilidad o siquiera inteligibilidad a esta explicación. Descartes intentaba dar una explicación física del mundo actual a partir de una definición puramente geométrica de materia. Las críticas de sus contemporáneos, al igual que las de muchos de los especialistas cartesianos actuales, se centran en el paso del nivel geométrico de su explicación al nivel físico, el nivel de los fenómenos del mundo. La forma de explicación física *pero* geometrizada de la materia hace intrínsecamente problemática la conceptualización de la conformación y diversidad de los cuerpos a partir del movimiento de partes de extensión (así como, indirectamente, la conceptualización de las demás propiedades de la materia como la dureza o el peso, en tanto que derivadas, asimismo, de la extensión; sobre esto volveré en la subsección siguiente). ¿Cómo pueden *diferenciarse* partes en la extensión? ¿Acaso no puede concebirse la extensión sin partes? Decir que las genera el movimiento impartido por Dios a la materia parece no resolver la dificultad principal de conceptualización, pues ¿cómo impartir movimiento a algo que no se conciba ya como dividido en partes? Quizá haya que suponer, como hacen A. Rioja y Javier Ordóñez (véase una nota previa)¹⁸ que Dios no imparte el movimiento a la materia como bloque, sino a la materia ya dividida en cuerpos antes de la impartición de movimiento. Pero incluso así hay que seguirse preguntando: ¿cómo hace Dios para separar en partes la extensión (antes de impartirles movimiento)? ¿Es concebible la manera en que pueda haberse producido esta separación?

¹⁸ Ver n.p.p. 14 en la pág. 16 de este trabajo.

1.2.2 Las propiedades de los cuerpos

Como veremos, Descartes separa el movimiento de toda acción productora de la traslación de un cuerpo y lo reduce a la simple consideración geométrica de tal traslación, es decir, a un cambio de posición.

Sin embargo, la invocación por Descartes de tales de formas de movimiento de la materia para explicar las *propiedades no esenciales* de ésta presenta, de suyo, dificultades. La explicación de estas propiedades a partir de cambios en la materia extensa hace problemática la posibilidad de la dureza, la cohesión, la densidad, etc. Pero veamos la base de las explicaciones cartesianas.

Descartes sostiene que la dureza de los cuerpos, por ejemplo, se explica por la mayor o menor cohesión de sus partes (a mayor cohesión, más dureza). Y esta cohesión se debe al reposo de las partes. Hay mayor cohesión en un cuerpo, por tanto mayor dureza, cuando sus partes están en reposo costado con costado. Y menor cohesión y por tanto mayor fluidez, cuando sus partes se agitan. Entonces, un cuerpo cuyas partes internas estén en movimiento se rompe con más facilidad que uno cuyas partes estén en reposo.¹⁹ En los *Principios* nos dice:

Y no podemos imaginar un aglutinante que una las partículas de los cuerpos duros más sólidamente que su propio reposo. Pues, ¿qué podría ser ese aglutinante? Una sustancia no, porque esas partículas son sustancias, y no hay ninguna razón para que se unan por medio de otra sustancia en vez de por sí mismas. Tampoco puede ser algún modo diferente del reposo, pues ningún otro se opone más al movimiento que separaría esas partículas, que el reposo de las

¹⁹ Es interesante señalar que esta intuición de que los estados de agregación de la materia se deban a las distintas situaciones de movimiento de sus partículas es correcta, pues v.g. actualmente se dice que un cuerpo está en estado sólido cuando la energía cinética de las partículas es menor que la energía potencial; que algo es líquido cuando la energía cinética y potencial son aproximadamente iguales y que es gaseoso cuando la energía cinética es mayor que la potencial.

mismas. Y aparte de las sustancias y sus modos, no conocemos ningún otro género de cosas.^{20,21}

Este otro pasaje compara explícitamente los dos tipos de cuerpos:

Pues bien, todo lo que nos enseña el testimonio de los sentidos a este respecto es que las partes de los fluidos se apartan fácilmente de sus lugares, de manera que no oponen resistencia a nuestras manos cuando las dirigimos contra ellos; mientras que las de los duros están tan unidas, que para poder separarlas hace falta una fuerza capaz de vencer su cohesión. Y al investigar por qué ciertos cuerpos dejan su lugar a otros sin ninguna dificultad, pero otros no, advertimos fácilmente que los que ya están en movimiento no impiden que los lugares que abandonan espontáneamente sean ocupados por otros, mientras que hace falta alguna fuerza para expulsar de los suyos a los que están en reposo. De donde cabe inferir que los cuerpos divididos en multitud de partículas, que son agitadas por diversos movimientos, son fluidos; mientras que aquellos cuyas partículas reposan todas unas junto a otras, son duros.²²

La explicación de la densidad, que es la proporción de partes de elementos que constituyen un cuerpo, es análoga a la de la cohesión. Un cuerpo será más denso cuanto más lento sea el movimiento de sus partes: así habrá una menor posibilidad de separación de éstas, a diferencia de si el movimiento de las partes fuera rápido. Pero en este caso hay que tomar en cuenta además de la velocidad el tamaño de las partes de la materia, puesto que la cantidad de movimiento dada a dos cuerpos de distinto tamaño produce velocidades diferentes. Descartes sostiene que:

No se debe tomar en cuenta únicamente la velocidad del movimiento, sino también el tamaño de las partes, ya que son las más pequeñas las que hacen a los cuerpos más líquidos y las más grandes las que tienen más fuerza para quemar y, en general, para actuar contra los otros cuerpos. Nótese, de paso, que considero aquí y que siempre consideraré en lo sucesivo, como una sola parte

²⁰ *Principios de la Filosofía* 2:55, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 112.

²¹ De esta explicación de la cohesión se derivará otra de las muchas objeciones que Leibniz hace a Descartes. Véase *Observaciones generales sobre la parte general de los principios cartesianos* arts. 54-55, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, pp. 179-187.

²² *Ibid.*, 2:54.

todo aquello que está bien unido y que no está a punto de separarse; aunque (las partes) que tienen un mínimo de tamaño pueden dividirse fácilmente en muchas otras más pequeñas; así, un grano de arena, una piedra, una roca, e incluso la tierra entera podrá tomarse en adelante como una sola parte mientras no consideremos en ella más que un sólo movimiento totalmente simple e igual.²³

Del mismo modo, es a partir del movimiento, pero también de la exclusión del vacío y apelando a que las partes de la materia deben tocarse por todos lados, haciendo que el choque se transmita inmediatamente, que Descartes sostiene que se explican la compresión y expansión de los cuerpos. Según Descartes, cuando un cuerpo se expande esto se debe a que algunos de sus intersticios, que estaban previamente cerrados, se llenan de materia nueva. No hay entonces un incremento real de la extensión, pues permanece la misma extensión del cuerpo. Lo único que sucede es que parte de la materia circundante a un cuerpo lo ha penetrado.²⁴ Asimismo, para Descartes, no puede existir compresión ninguna de ningún fluido o vapor sin el desplazamiento de la materia de sus intersticios hacia el medio circundante.

Un problema que salta a la vista en la explicación de estas nociones se deriva otra vez, siguiendo a Shea, del carácter netamente geométrico de la mecánica cartesiana.²⁵ Esta mecánica no parece envolver una noción de materia esencialmente impenetrable, ni fuerzas dinámicas, con lo que, si bien geoméricamente la figura es un modo de la extensión, el que la dureza sea un modo de la extensión sí es algo difícil de imaginar. La resistencia se define en

²³ *El Mundo*, capítulo 3, edición citada, p. 61.

²⁴ Cfr. *Principios de la Filosofía* 2:6, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, pp. 76-77.

²⁵ Cfr. Shea, *op cit.* p. 379.

términos de partículas en reposo que se oponen a las partículas en movimiento. Pero ¿cómo pueden oponer resistencia partes de la mera *extensión* a otras partes también de la mera extensión?

También es difícil imaginar la expansión y compresión de los cuerpos en el modelo cartesiano, pues en este modelo el cuerpo es igual a un volumen. Un volumen no puede ni dilatarse ni contraerse. Se puede pasar de considerar un volumen a considerar un volumen mayor pero este volumen mayor será necesariamente diferente del volumen anterior. Si la materia es por esencia extensión, es como mínimo muy difícil pretender que la materia de un cuerpo pueda ocupar más o menos espacio. Sería como pretender que un volumen puede ocupar más volumen del que ocupa, lo cual parece casi una contradicción.

La explicación de las propiedades de los cuerpos dentro del sistema cartesiano es pues problemática. Sin embargo, hay aspectos rescatables del modelo de Descartes, en la medida en que hay aspectos que son independientes de la tesis de que la materia es simplemente extensión. Por ejemplo, la explicación cartesiana de la expansión y compresión no es errónea si nos sujetamos a la ilustración concreta de la que tomó su modelo, que era una esponja.²⁶ En este caso la explicación de la hidratación o deshidratación de ésta que se seguiría del modelo cartesiano es una explicación que sigue siendo aproximadamente válida aún en nuestros días. Otro ejemplo lo proporciona la explicación actual de la fluidez o solidez de un cuerpo. Según esta explicación, estas propiedades están en función del mayor o menor movimiento de sus partículas. Hoy sabemos que las

²⁶ Cfr. *Principios de la Filosofía* 2:7, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 77-78.

partículas de un líquido tienen un movimiento mayor que las de un sólido, precisamente como lo proponía (bien es cierto que especulativamente) Descartes.

Así, el problema de las explicaciones cartesianas de las propiedades no esenciales de la materia no está tal vez en que Descartes usara un modelo estrictamente mecánico de explicación, sino en su concepción de la propiedad esencial de la materia (como extensión geométrica).

1.3 El movimiento

1.3.1 *El movimiento en el pleno*

Para Descartes, donde hay extensión hay materia y por consiguiente materia individualizada por el movimiento, o sea cuerpos. Descartes no es capaz de imaginar un lugar sin extensión, el espacio es extensión. Esta idea es problemática, puesto que, según ella, los cuerpos no están meramente en el "espacio" intuitivo sino entre otros cuerpos. Y en el desplazamiento de los cuerpos, el espacio (virtualmente) vacío ha de quedar ocupado por otro cuerpo. (Como W. Shea señala, no se puede hablar en Descartes del espacio intercorpóreo como una sustancia o ni siquiera como un ente extremadamente diferente de los cuerpos, sino como a lo sumo un ente compuesto de cuerpos relativamente poco densos.)²⁷ Esto es, los lugares en los que aparentemente no hay nada están ontológicamente (realmente) llenos de materia.

²⁷ Cfr. Shea, *op.cit.* p. 351.

Estas tesis *hacen* problemático concebir el movimiento. Éste ha de darse en un sitio donde no hay espacio donde desplazarse. Esta forma general de objeción es newtoniana, pero aparece también en muchos autores contemporáneos. Por ejemplo, Laura Benítez observa que si todo está lleno de materia, aun suponiendo que de inicio se hayan dado las partes con todos los tamaños y figuras, la noción de movimiento se hace problemática, ya que el movimiento se da apelando a que las partes de la materia deben tocarse por todos lados, lo que hace que el choque se transmita instantáneamente, conservando así constante la cantidad de movimiento; pero con la exclusión del vacío es muy difícil concebir un choque en tales circunstancias: ¿cómo lograr la continuidad del movimiento a través de múltiples acciones instantáneas?²⁸

Descartes mismo se dio cuenta de esta situación e introdujo la tesis de que el movimiento dentro del pleno era circular, a fin de poder explicar cómo es que efectivamente se da en el mundo físico. ¿Qué quiere decir esto? La tesis es presentada así en los *Principios*:

...a partir de lo que hemos observado arriba, a saber, que todo lugar está lleno de cuerpos y que a las mismas partes de materia corresponden siempre lugares iguales, se sigue que un cuerpo no puede moverse si no es mediante un círculo, es decir, expulsando algún otro cuerpo del lugar al que llega, el cual a su vez expulsa a otro, y éste a otro, etc., hasta el último, el cual ocupa el lugar abandonado por el primero en el mismo momento en que lo dejó.²⁹

(Nótese que este "recorrimiento" de una cadena de cuerpos que se da en todo movimiento no tiene por qué ser estrictamente circular. Puede darse también en la

²⁸ Cfr. L. Benítez, "Estudio introductorio" a su edición de *El Mundo*, *op.cit.* pp. 29-30.

²⁹ *Principios de la Filosofía* 2:33, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 95.

forma de otras curvas cerradas,³⁰ y quizá incluso de otras figuras cerradas.) Ya en *El Mundo* hay una referencia a esta idea. Recordemos que Descartes plantea que antes de que Dios empezara a mover la materia se la debe imaginar como el cuerpo más duro y más sólido que hay en el mundo, por lo que es necesario pensar que la acción o fuerza de moverse o de dividirse que se hubiese puesto en alguna de sus partes se expandió y distribuyó en todas las demás, en el mismo instante tan uniformemente como fue posible. Y que en vista de que no había ningún vacío en este nuevo mundo *fue imposible que todas las partes de la materia se hubiesen movido en línea recta y han debido coordinarse todas juntas en algunos movimientos circulares.*³¹ La explicación anterior ayuda a hacer más fácil la conceptualización del movimiento en un espacio sin vacío, pero no puede ocultarse el carácter *ad hoc* y especulativo de la idea del movimiento circular.³²

Como ya señalé, el plenismo de Descartes se imbrica con múltiples tesis e ideas cartesianas. Una de esas ideas es la de que el mundo no puede tener límites definibles. Si se concibiesen límites, se concebiría el espacio (vacío) más allá de esos límites, y el espacio vacío no es concebible por lo ya expuesto.

³⁰ Cfr. *Principios de la Filosofía* 2:33, edición citada, p. 95: "[el movimiento] también puede entenderse en un círculo imperfecto, por muy irregular que sea, si tenemos en cuenta que cualquier desigualdad de sus partes puede compensarse con una velocidad desigual de movimiento".

³¹ Cfr. *El Mundo*, capítulo 8, p. 95. Para una explicación de cuestiones relacionadas con este punto cfr. J. Lynes, "Descartes' theory of elements from *Le Monde* to the *Principes*", *Journal of the History of Ideas*, vol. 43, 1982, pp. 70-71.

³² Una crítica más específica a la idea del movimiento circular es la de A. Kenny, *Descartes: A Study of his Philosophy*, Random House, Nueva York, 1968, pp. 214-5. Kenny dice que se sigue de las tesis de Descartes sobre el movimiento relativo (que explico más abajo) que la cadena de cuerpos que se mueven en círculo debe ser en realidad un solo cuerpo, que se mueve sólo si lo hace con respecto a algo más. Pero la cadena no se mueve con respecto a nada. De ello concluye Kenny que la teoría de Descartes implica que el movimiento es imposible. Volveremos sobre esta crítica en el capítulo 3.

Una de las ideas fundamentales con las que se imbrica el plenismo es de índole explicativa. Como dije antes, en una física mecanicista como la de Descartes la acción que produce el movimiento requiere contacto espacial entre el agente y el paciente, a diferencia de lo que ocurre en la física de los newtonianos. Esta motivación para el plenismo parece justa y atractiva. Sin embargo, el éxito de la teoría de Newton, no mecanicista en el sentido cartesiano, quitó fuerza a esa ventaja de la teoría de Descartes.

1.3.2 La traslación de los cuerpos y la relatividad del movimiento

Descartes sostiene que el movimiento de los cuerpos (y de las partículas o corpúsculos, que son cuerpos pequeños) es local. Que el movimiento es local significa que el movimiento consiste exclusivamente en un cambio de posición (o cambio de lugar relativo) de un cuerpo. Esto implica que el movimiento no es algún tipo de acción o fuerza interna de un cuerpo por medio de la cual pasa de un lugar a otro y tampoco alguna fuerza transmitida por otro cuerpo al cuerpo que eventualmente se mueve. No hay tales fuerzas ínsitas en Descartes.

[El movimiento propiamente dicho] es la traslación de una parte de materia, es decir, de un cuerpo, desde la proximidad de los cuerpos contiguos, que se consideran en reposo, hasta la proximidad de otros (...). Y digo que es la *traslación* y no la fuerza o acción que traslada, para poner de manifiesto que el movimiento está siempre en el cuerpo que es movido y no en lo que mueve.³³

Nótese la mención de Descartes de la traslación “desde la proximidad de los cuerpos contiguos, que se consideran en reposo, hasta la proximidad de otros”. El movimiento es siempre con respecto a cuerpos “que se consideran en

reposo", pero qué cuerpos se consideren en reposo no es una cosa fijada absolutamente. Para Descartes es necesario imaginar que el movimiento es recíproco. Si un cuerpo se mueve con respecto a otros que se consideran en reposo, entonces, si consideráramos en reposo al primer cuerpo obtendríamos la conclusión recíproca de que los cuerpos que antes considerábamos en reposo ahora son descritos como en movimiento con respecto al cuerpo considerado en reposo. A un mismo cuerpo puede considerársele en movimiento o en reposo, arbitrariamente. Consiguientemente el estado de un cuerpo puede ser establecido arbitrariamente dependiendo del punto de referencia que se adopte. Por ejemplo, para Descartes la Tierra se encuentra en reposo respecto al éter del vórtice que la circunda pero en movimiento respecto al Sol.³⁴

La *traslación* se produce desde la proximidad no de cuerpos contiguos cualesquiera, sino sólo de los que se consideran en reposo. Pues la *traslación misma es recíproca*, y no se puede entender que el cuerpo AB se traslade de la proximidad CD, sin entender al mismo tiempo que el cuerpo CD se traslade desde la proximidad del cuerpo AB.³⁵

Una de las tesis de la física cartesiana es que toda la materia está en movimiento. En realidad, esta tesis es bastante obvia, pues parece bastar que un cuerpo esté en movimiento con respecto a otros para que *todo* cuerpo esté en movimiento con respecto a algún otro. Y esto último es lo único que quiere decir que un cuerpo esté en movimiento. No hay ningún cuerpo o parte del espacio de la que se pueda suponer que está en reposo en un sentido privilegiado.

³³ *Principios de la Filosofía* 2:25, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 88.

³⁴ Hablaremos sobre los vórtices cartesianos en una subsección posterior.

³⁵ *Principios de la Filosofía* 2:29, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 90. (Las cursivas son mías.)

¿Supone esto una dificultad intrínseca para la física? ¿Implica que toda ella es en algún sentido una construcción de la razón, ya que no hay una base absoluta sobre la cual calcular los movimientos de los cuerpos? Descartes mismo afirma en los mismos *Principios* que:

...pero si pensáramos que no hay puntos verdaderamente inmóviles en el universo (y en lo que sigue mostraré que esto es probable), entonces concluiríamos que no hay lugar permanente de cosa alguna, sino en tanto que lo determinamos con el pensamiento.³⁶

Newton parece haber visto dificultades insuperables en esta posición dictada por la relatividad cartesiana del movimiento. Hoy día, de cualquier manera, el que el movimiento de los cuerpos se relativice a una parte de su entorno considerada en reposo, y el que ciertas propiedades físicas de los cuerpos se consideren como relativas a un marco de referencia, no es un problema.

1.3.3 Las causas del movimiento

Para Descartes Dios es la causa primaria de los movimientos que observamos en la naturaleza y las leyes de la naturaleza son las causas secundarias. Como resume útilmente D. Clarke, Dios es la causa "universal y primaria, la cual es la causa general de todos los movimientos en el mundo". Una causa secundaria, por otro lado, es una causa concreta que explica "cómo las partes individuales de la materia adquieren movimiento cuando anteriormente carecían de él".³⁷ Dice Descartes:

³⁶ *Principios de la Filosofía* 2:13, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 81.

³⁷ D. Clarke, *La Filosofía de la Ciencia de Descartes*, Alianza, Madrid, 1986, pp. 108-109.

Ahora que conocemos la naturaleza del movimiento, conviene considerar su causa, que es doble: en primer lugar la primera y universal, que es la causa general de todos los movimientos que hay en el mundo; y después la particular, por la que cada parte de materia adquiere el movimiento que antes no tenía. Pues bien, por lo que atañe a la general, me parece evidente que no es otra cosa que Dios mismo, que creó la materia junto con en el movimiento y el reposo, y que conserva ahora en toda ella, por medio de su mero concurso ordinario, tanto movimiento y reposo como puso entonces (...) Y a partir de la inmutabilidad de Dios podemos conocer ciertas reglas o leyes de la naturaleza, que son causas secundarias y particulares de los diversos movimientos que observamos en los cuerpos.³⁸

Descartes subraya especialmente el hecho de que una vez impartido por Dios el movimiento inicial a la materia, el resto de los movimientos y por tanto de los cambios que observamos en la naturaleza se explican por medio de las leyes de la naturaleza operando sobre las cosas materiales.

Es verdad, y esta es una opinión comúnmente aceptada por los teólogos, que el acto con el que Dios lo conserva [al mundo] ahora es justo el mismo que aquel con el que lo creó. Así que, incluso aunque en el principio Dios le hubiese dado al mundo sólo la forma del caos, con tal de que hubiese establecido las leyes de la naturaleza y prestado su concurso para que la naturaleza pudiese obrar como normalmente lo hace, podemos creer, sin poner en duda el milagro de la creación, que, sólo con esto, todas las cosas puramente materiales habrían, en el curso del tiempo, llegado a ser como las vemos ahora. Y es mucho más fácil concebir su naturaleza si las vemos desarrollarse gradualmente de esta manera que si las consideramos sólo en su forma completa.³⁹

Para D. Clarke, son estas suposiciones acerca del carácter inmutable de los efectos de Dios en la naturaleza las que proporcionan algún tipo de base a las leyes de la naturaleza. Para repetir un texto citado hace poco:

Y a partir de esta inmutabilidad divina se pueden conocer algunas leyes o reglas de la naturaleza que son las causas secundarias o concretas de los diversos movimientos que advertimos en los cuerpos individuales.⁴⁰

³⁸ *Principios de la Filosofía* 2:36 y 2:37, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, pp. 97-99.

³⁹ *Discurso del Método*, 5a parte. Véase también Shea, *op cit.* pp. 374-375.

⁴⁰ *Principios de la Filosofía* 2:37, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 99.

La intervención de Dios supone que el sistema cartesiano no proporciona una teoría física independiente. La física depende de un fundamento teológico.⁴¹ Sin embargo, nunca puede subrayarse lo suficiente que, independientemente de la dependencia de la física con respecto a la teología, Descartes insiste enfáticamente en que las leyes de la naturaleza bastan, una vez pasada la intervención inicial de Dios, para la explicación del comportamiento del mundo natural.

¿Cuáles son esas leyes de la naturaleza? Las fundamentales son sólo tres (otras, como las leyes cartesianas sobre choques de cuerpos, acerca de las que digo algo más en la siguiente subsección, se derivan de las fundamentales):

Primera ley o ley de la conservación del movimiento:

Cada cosa persevera siempre en el mismo estado en cuanto depende de ella; de modo que lo que se mueve una vez tiende a moverse siempre.⁴²

Segunda ley o ley de la inercia:

Todo movimiento es recto de suyo. Por eso, las cosas que se mueven circularmente tienden siempre a separarse del círculo que describen.⁴³

3. Tercera ley o ley del cambio de movimiento:

Quando un cuerpo choca con otro más fuerte, no pierde nada de su movimiento; pero cuando choca con uno menos fuerte, pierde tanto como transmite a éste.⁴⁴

⁴¹ Cfr. *Principios de la Filosofía* 2:37.

⁴² *Principios de la Filosofía* 2:37, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 99.

⁴³ *Ibid.*, 2:39, p. 100.

De la segunda ley nos ocuparemos con algún detalle en la siguiente sección.

1.3.4 Los efectos del movimiento

La concepción cartesiana del movimiento presenta problemas especiales cuando se trata de explicar los efectos del movimiento. Es evidente a la observación que la magnitud de los efectos de un cuerpo en movimiento cuando choca con otro es proporcional a su velocidad y a su cantidad de materia.⁴⁴ Para Descartes la introducción de estos factores explicativos es difícil, en parte por las ideas básicas de su sistema, en parte por limitaciones no dictadas por el sistema, pero que Descartes sin embargo no sabe superar.

Descartes tiene problemas para introducir un concepto suficientemente rico de velocidad. La noción de velocidad que introduce es estrictamente hablando una noción escalar de velocidad o, más propiamente hablando, una noción de rapidez. Es la cantidad de espacio recorrida por un cuerpo en un tiempo fijado, sin mención de la dirección o composición de direcciones en que se produce el movimiento al que implícitamente se alude. El uso exclusivo de esta noción escalar llevó a Descartes a dar en los *Principios* reglas sobre los efectos de las colisiones de los cuerpos que no tienen en cuenta adecuadamente las direcciones de los cuerpos

⁴⁴ *Ibid.*, 2:40, p. 102. En la remodelación de *El Mundo* que dio lugar a los *Principios*, Descartes reforma las leyes del movimiento y la tercera ley del movimiento en *El Mundo* (tocante a la rectilineidad) se convierte en la segunda de los *Principios*, y viceversa.

⁴⁵ Piénsese en el ejemplo que pone Fermín Viniegra, *Mecánica sin talachas*, FCE, México, 2001, p. 129: "considérese cuán distinto sería que un mosquito con una masa de unos cuantos miligramos se estrellara con una velocidad dada contra la cabeza de una persona y ahora considérese que una locomotora, con la misma velocidad del mosquito, pero con

que chocan. Ya Huygens (1629-1695) y Leibniz señalaron que varias de estas reglas eran falsas. (Leibniz también señaló que la noción de cantidad de movimiento que se obtiene multiplicando la cantidad de materia por la velocidad escalar o rapidez no podía conservarse, a diferencia de lo que hoy se conoce como momento -la multiplicación de la cantidad de materia por la velocidad vectorial.)⁴⁶

Otros problemas relacionados se deben, una vez más, a la identificación cartesiana de la materia con el espacio, que en este caso se halla en la base de todo el sistema. Es razonable suponer, como he dicho antes, que los efectos del movimiento de un cuerpo (los efectos destructivos de un proyectil, por ejemplo) son proporcionales a su cantidad de materia, o masa, como se la suele llamar. Dado su sistema físico, Descartes debe *definir* la masa como volumen. Pero con ello surge una vez más un problema parecido a otros ya vistos. ¿Cómo explicar el hecho de que cuerpos del mismo volumen que se mueven a una misma velocidad pero hechos de materiales diferentes (una bola de plomo y otra de corcho del mismo volumen, por ejemplo) tengan efectos (de destrucción, por ejemplo) diferentes? La solución de Descartes es rara.⁴⁷ Consiste en proponer que hay cuerpos de un mismo volumen que otros pero donde, en contra de lo que podría pensarse, no todas sus partes viajan a la misma velocidad que el cuerpo. La

mil toneladas de masa se estrellara contra esa persona; es indudable que el efecto sería radicalmente distinto en ambos casos".

⁴⁶ Sobre estas cuestiones véase Leibniz, *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos* arts. 40-53, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, pp. 158-179. No puedo ofrecer un comentario suficientemente detallado de estos problemas; una discusión apropiada de los cuales requiere una competencia técnica que no poseo. Al respecto véase R. Torretti, *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, pp. 30 y siguientes.

propuesta newtoniana para dar cuenta de este fenómeno, que consiste en aceptar la identidad de velocidades pero aceptar también la diferencia de masas, es mucho más intuitiva.

Sobre este mismo conjunto de temas también es interesante la disputa More-Descartes. More centró su ataque sobre la cuestión de la transferencia del movimiento de un cuerpo a otro. Para More, si la transferencia del movimiento de un cuerpo a otro implicaba que los objetos tienen poderes causales en virtud de su tamaño y velocidad, entonces se requería que Descartes explicara claramente qué clase de poderes causales estaban implícitos y en concreto, por qué la variación en tamaño o velocidad suponía una variación en el poder causal. A lo cual seguía un devastador dilema como señala J. Cottingham.⁴⁸ Por una parte, si el poder causal del movimiento había de atribuirse sólo a Dios, esto hacía redundantes las acciones de los cuerpos, ya que si Dios es el único agente, entonces los objetos serían contraintuitivamente privados de cualquier eficacia causal. Del otro lado, surgía el cargo de animismo contra Descartes, ya que aparentemente se daba la implicación de que un pedazo de extensión podía transmitir de algún modo información a otro pedazo de extensión. Con lo que el argumento de More era presentar a los cartesianos dos opciones en nada atractivas: un ocasionalismo⁴⁹ contraintuitivo o una doctrina que aceptara alguna modificación de la definición de

⁴⁷ Véase Torretti, *The Philosophy of Physics*, *op.cit.* p. 20.

⁴⁸ J. Cottingham: "Fuerza, movimiento y causalidad: la crítica de More a Descartes" en L. Benítez y J. A. Robles (comps.), *El Problema del Infinito: Filosofía y Matemáticas*, UNAM, México, 1997, pp. 110-111.

⁴⁹ El ocasionalismo era una doctrina desarrollada por Nicolás Malebranche (1638-1715), quien pretendió dar solución a la interacción sustancial cartesiana, afirmando la intervención continua de Dios en el mundo para explicar el aparente poder causal de la sustancia pensante sobre el mundo físico.

materia como mera extensión, lo cual supondría el abandono del concepto central de la física cartesiana.

De las dos alternativas, la primera (el ocasionalismo contraintuitivo) no pudo haber sido en ningún caso la cartesiana, porque Descartes nunca consideró el poder conservador de Dios de momento a momento con respecto a una partícula dada, aunque Descartes mismo señalara que ni las partículas, ni el movimiento pueden existir sin el poder conservador de Dios.

Me parece evidente que no es otra cosa que Dios mismo que creó al principio la materia junto con el movimiento y el reposo, y que conserva ahora en toda ella, *por medio de su mero concurso ordinario*, tanto movimiento y reposo como puso entonces.⁵⁰

La segunda alternativa (la modificación de la definición de materia como extensión) tampoco fue cartesiana, obviamente.

Desde nuestro punto de vista actual, post-newtoniano, Descartes necesitaba introducir en su sistema una propiedad dinámica, es decir, que interviniera una fuerza ínsita en el cuerpo que se mueve. No cabía explicar todos los efectos de los movimientos de los cuerpos por medio de sus propiedades geométricas. Pero al mismo tiempo es claro que Descartes habría considerado misteriosa u "oculta" esta noción de fuerza ínsita. Y el rechazo cartesiano a estas fuerzas sigue pareciéndonos bien fundado en cierto modo, incluso si al final los que acabaron teniendo éxito fueron los que de una manera u otra aceptaban esas fuerzas.

⁵⁰ *Principios de la Filosofía* 2:36, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 98. (Las cursivas son mías.)

Es interesante preguntarse, por otro lado, si Descartes no introdujo sin darse cuenta en su sistema las fuerzas ínsitas que rechazaba. Algunos autores, como Henry More en su tiempo y Anthony Kenny en el nuestro, afirman que en su noción de movimiento Descartes apela a una fuerza ínsita. Así v.g. Kenny dice que si para Descartes la tendencia a permanecer en su estado (de movimiento o de reposo) es una propiedad genuina de los cuerpos (como dice la ley cartesiana de la inercia, enunciada más arriba en la página 31) entonces no es verdad que los cuerpos tengan sólo propiedades geométricas (y de movimiento local).⁵¹

1.3.5 La teoría de los vórtices

Vimos que para Descartes todo movimiento da lugar a una cadena de movimientos en círculo. Estos círculos, o al menos los muy grandes, con estrellas en sus centros, son llamados por Descartes 'vórtices' o 'torbellinos'.⁵² La Tierra y los planetas están ubicados en uno de estos torbellinos con el Sol en su centro. Sus movimientos se deben a que los torbellinos los arrastran.

La teoría de los torbellinos proporciona la explicación cartesiana de la gravedad (entendida como lo que hace que los objetos caigan). Los objetos terrestres pesan porque, aun cuando tienen una tendencia al movimiento rectilíneo -y con ello a salir disparados por la tangente-la inexistencia del vacío hace que la acción del movimiento sea circular. La materia celeste que rodea a la Tierra y que

⁵¹ Cfr. Kenny, *Descartes: A Study of his Philosophy*, Random House, Nueva York, 1968, p. 214. Kenny aduce al respecto un pasaje interesante (p. 68 del tomo VIII de la edición de Adam-Tannery) en el que Descartes usa la palabra 'fuerza' para describir la propiedad que es responsable de que un cuerpo persevere en su estado de reposo o movimiento.

⁵² Cfr. *Principios de la Filosofía* 3:46, en Descartes, *Los principios de la filosofía*, edición de G. Quintás, Alianza, Madrid, 1995. p. 150.

tiene un movimiento giratorio mayor que la materia terrestre, dado que sus partes son más ligeras que los elementos de ésta, ejerce una presión conjunta de todas sus partes sobre los cuerpos terrestres hacia el centro.⁵³ Así, la acción de la gravedad es también puramente mecánica en Descartes.⁵⁴

Un aspecto interesante de la teoría de los vórtices (y con ella de su explicación de la gravedad) es que tuvo vigencia más de un siglo. Su comparación del movimiento de los cuerpos celestiales con el movimiento de los cuerpos terrestres flotando en torbellinos de fluido era atractiva y fácilmente imaginable. Proveía una analogía que al menos tenía el mérito de la plausibilidad. Ello se sumaba a la reducción que aparentemente proporcionaba de los fenómenos del universo a un solo principio mecánico. Sin embargo, la teoría fracasó cuando no pudo explicar la elipticidad de las órbitas planetarias que Kepler ya había descubierto, así como el achatamiento de los polos terrestres y el ensanchamiento del ecuador. Todos estos fenómenos se explicarían posteriormente con la noción de gravedad newtoniana. Volveré sobre esto en el capítulo 3.

⁵³ Compárese la doctrina aristotélica del movimiento natural. Según ésta, el orden físico del universo se establecía en una escala de cuerpos ordenada en función de su peso entre el arriba absoluto del éter de los cielos y el abajo absoluto del centro de la Tierra donde se hallarían los cuerpos más densos y pesados; en relación a esta escala, cada cuerpo se movería *por naturaleza* hasta alcanzar el sitio que le correspondiera por sus cualidades. Cfr. S. Turró, *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*, Anthropos, Barcelona, pp. 56-57.

⁵⁴ Sin embargo, aunque Descartes no aceptara en *El Mundo* que la gravedad es una propiedad inherente de los cuerpos (por la razón de que ello suponía la absurda concepción de una fuerza a distancia), en todo caso, no sólo en los primeros días de su física, sino aun después, Descartes parece haber sostenido inconsistentemente que la caída de los cuerpos se da a causa de una *vis* o fuerza atractiva. Así Descartes en sus *Sextas Objeciones* concibe la gravedad como una 'cualidad real' que implica pensar que "la *vis* atractiva [la gravedad] lleva a los cuerpos hacia el centro de la Tierra como si en sí misma tuviese algún conocimiento del centro" (edición de Adam-Tannery, VII, 442. Citado en Cottingham, "Fuerza, movimiento y causalidad: la crítica de More a Descartes" en L.

De cualquier manera, independientemente de que el poder de la explicación mecanicista cartesiana del mundo físico (incluida aquí la teoría de los vórtices) no haya sido amplio, hay que subrayar otra vez que gran parte de la importancia de la física cartesiana radica en haber propuesto un modelo de cómo reducir los cambios en el mundo visible a modos (movimientos) de una misma materia homogénea.

1.4 La inercia cartesiana

A lo largo de este capítulo se han analizado las nociones cartesianas de materia y movimiento y, con ello, algunas de las intuiciones correctas de Descartes respecto a la física así como sus fallas en ciertos aspectos de ésta.

En esta sección se analizará de modo particular uno de los aspectos de la física cartesiana que más ha pervivido en las bases de la ciencia moderna y que más influyó en el tránsito de la filosofía natural a la física. Me refiero al principio de inercia cartesiano.

El término *inercia* era usado a menudo en la escolástica para referirse a una cualidad natural 'de falta de actividad o lentitud de los cuerpos terrestres'. La cuestión es que los escolásticos, al igual que los griegos, sólo tenían a medias el concepto de inercia. Ambos comprendían que los objetos en reposo tendían a permanecer en reposo -intuición que todavía se conserva hoy cuando se habla de

Benítez y J. A. Robles (comps.), *El Problema del Infinito: Filosofía y Matemáticas*, UNAM, México, 1997, p. 109.)

un 'objeto inerte', significando con ello que el objeto está inmóvil- pero no comprendían que los objetos en movimiento tienden a permanecer en movimiento. Así, tradicionalmente, la concepción más completa de inercia no se lograría hasta los tiempos de Galileo y Newton. Sin embargo, Koyré afirma que a Descartes corresponde el mérito, y no a Galileo, de haber sido el primero en concebir la ley de la inercia.⁵⁵ Y sobre la misma línea, Cottingham sostiene que Descartes formula la primera enunciación en la historia de la ciencia de la noción moderna de inercia.⁵⁶

El principio cartesiano de que todas y cada una de las cosas, hasta donde se puede, continúan siempre en el mismo estado y que lo que una vez está en movimiento continúa moviéndose siempre⁵⁷ se halla en esencia en Galileo. Pero el principio de que todo movimiento es de suyo rectilíneo⁵⁸ no se halla en Galileo y es básicamente el utilizado en la formulación de lo que habría de convertirse en la ley de la inercia newtoniana. Aun cuando Galileo había anticipado muchos años antes que Descartes la idea de la conservación del movimiento, fracasó en anticipar el principio básico de la física newtoniana –la continuidad del movimiento *rectilíneo*–, pues mantenía que, "si bien los cuerpos tienden por naturaleza a desplazarse, este [desplazamiento] sólo puede ser circular y *no* es posible que la naturaleza le haya conferido a ninguno de los cuerpos la propensión de moverse en línea recta".⁵⁹ Galileo creía en la persistencia del movimiento circular como

⁵⁵ Cfr. A. Koyré, *Estudios galileanos*, SXXI, Madrid, 1998, p. 264.

⁵⁶ Cfr. Cottingham, *op.cit.* pp. 141-142.

⁵⁷ *Principios de la Filosofía* 2:37, citado más arriba.

⁵⁸ *Principios de la filosofía* 2:38, citado más arriba.

⁵⁹ Respuesta a Ingoli (1624). Citado en Cottingham, *Descartes, op.cit.* p. 160.

movimiento inercial, separándose así de lo que sería la concepción moderna de inercia.

De cualquier manera, aunque Descartes anticipara el principio rectilíneo, mantiene que la interacción de los cuerpos se da en forma tal que todo el movimiento real debe darse en una curva cerrada, como vimos. De lo que se ha inferido a veces que Descartes no fue capaz de deslindarse totalmente del 'mito de la circularidad', heredado de la tradición aristotélica. R.S. Westfall dice que "Descartes volvía, sin percatarse de que lo hacía, a abrazar de hecho la idea del movimiento circular natural".⁶⁰

Por otro lado, la cuarta regla del choque de los cuerpos en los mismos *Principios* es en cierto modo difícil de conciliar con el principio de inercia, pues es mucho más fuerte que este principio (y por tanto debería ser más fundamental):

Si C está en completo reposo y es algo mayor que B, entonces cualquiera que sea la velocidad con la que B se mueve hacia C, nunca lo moverá, sino que será rechazado por éste en sentido contrario.⁶¹

La resistencia que Descartes atribuye a la materia en esta regla es una resistencia que excede notablemente la resistencia a cambiar su estado de reposo.⁶² Según esta regla, un cuerpo no tendría sólo una capacidad de permanecer en su estado de reposo mientras no se le aplicara una fuerza externa, sino una capacidad de resistir asimismo la aplicación de cualesquiera fuerzas externas comunicadas por un cuerpo de volumen menor que chocara contra él,

⁶⁰ Citado en Shea, *La magia de los números y el movimiento*, *op.cit.* p. 391.

⁶¹ *Principios de la Filosofía* 2:49, en Descartes y Leibniz, *Sobre los Principios de la Filosofía*, Gredos, Madrid, 1989, p. 107.

⁶² El problema, aquí, es que la resistencia al movimiento, que en este caso admitía Descartes, no se puede conciliar con su concepción de que la materia es inerte.

viajara aquél a la velocidad que viajara. La regla es patentemente falsa. Esto aparentemente eclipsa la primacía de Descartes de formular el principio moderno de inercia. A este respecto Shea dice: "la cuarta regla tiene la extraordinaria característica de prohibir a un cuerpo pequeño que mueva a uno grande ¡sea cual sea su velocidad!".⁶³

Entonces, ¿realmente se puede decir que a Descartes corresponde, y no a Galileo, el mérito de haber anticipado el principio básico de la física newtoniana? Primero, ¿es un hecho que Descartes no era capaz, al igual que Galileo (y otros de sus contemporáneos como Beeckman (1588-1637) de deslindarse del 'mito de la circularidad'? Es necesario recordar que en el caso de Descartes la idea del movimiento circular no es primitiva ni se basa en ideas estéticas o religiosas, sino que existe una justificación para ella apoyada en su metafísica: el movimiento en el mundo físico, i.e., el movimiento actual, era el resultado de los choques de las partes de materia dentro del pleno y este resultado sólo podía ser una cadena circular de movimientos. Recuérdese, además, que para Descartes esta cadena no adopta necesariamente la forma de círculo regular y en ocasiones, sólo meramente la de una figura cerrada, posiblemente muy imperfecta. (Naturalmente, luego tocaría el mérito a Newton de descubrir que el movimiento circular no es natural sino forzado, i.e., que el movimiento circular no se perpetúa a sí mismo, sino que se da por medio de una 'fuerza externa'⁶⁴ que hay que aplicar para que se produzca y mantenga el movimiento circular).

⁶³ Shea, *op.cit.* p. 414.

⁶⁴ La fuerza que hace que los cuerpos se separen de su camino recto, como en el caso de la fuerza gravitatoria.

En segundo lugar, ¿eclipsa la cuarta regla de choque la primacía de Descartes? Parece claro que el que Descartes no viera la falsedad de esta ley, y seguramente tampoco que la ley es más fuerte que la ley fundamental de inercia, no puede bastar para negarle el mérito del que hablamos, de la misma manera que el que Newton o Einstein (1879-1955) cometieran algún error no impide considerarles como creadores de sus ideas más meritorias.

Es obvio que en Descartes hay un avance con respecto a Galileo, puesto que la ley de inercia cartesiana implica la persistencia del movimiento en línea recta. Por otro lado, claro está, la ley de la conservación del movimiento se refiere a la conservación de la cantidad de movimiento -ya sea éste circular como para Galileo, Beeckman o Hobbes, o rectilíneo como para Descartes y Newton, posteriormente-. Es importante por tanto distinguir en Descartes los dos sentidos de inercia que se formulan en sus dos primeras leyes: (1) el sentido de inercia como conservación del movimiento de su primera ley, donde la inercia como cantidad de movimiento se transforma en circular en el mundo real, al igual que para Galileo y sus demás contemporáneos -y con lo cual quedaba en la misma situación que ellos-; y (2) el sentido de inercia de su segunda ley, que es la tendencia al movimiento rectilíneo y la proposición teórica que adelantará lo que se convertiría en la ley de la inercia newtoniana.⁶⁵

⁶⁵ Descartes efectúa una inversión radical de los planteamientos geométricos, cinemáticos y metafísicos del pensamiento antiguo sobre la preeminencia, perfección y máxima simplicidad de la circularidad, planteamientos que en gran parte seguían inalterados en las nuevas cosmologías renacentistas y en el propio Galileo, quien, como se ha visto, siempre consideró el desplazamiento circular de los astros como inercial. Descartes razonó a la inversa, rompiendo tajantemente con toda la tradición, por los razonamientos matemáticos que están a la base de toda su afirmación: la geometría analítica desarrollada en su estancia en París muestra que la ecuación de la recta es más simple

Descartes no hace mención alguna de las nociones de masa y fuerza que usará Newton (me refiero a las nociones de masa y fuerza de su segunda ley del movimiento no de su ley de inercia; en el caso de la noción de 'masa' entiendo que Newton la usa implícitamente en la segunda ley del movimiento, como parámetro tácito aunque la palabra no aparezca explícitamente en la formulación de esta ley). En el universo newtoniano, todo objeto será descrito por una sola magnitud, su masa -y la cantidad de *masa* determinará su *inercia*-, i.e., la tendencia a resistirse a todo cambio en su estado de reposo o de movimiento. Pero cuando un objeto móvil es puesto en movimiento, o un objeto móvil cambia de velocidad o de dirección, Newton infiere que de eso es responsable una fuerza externa (segunda ley de Newton o principio de la fuerza). Finalmente, el resultado de la aplicación de una fuerza a un cuerpo es que la acción que produce provoca también una reacción de igual magnitud pero en sentido contrario (tercera ley de Newton o principio de la acción y la reacción). Por ejemplo, la Luna gira alrededor de la Tierra; la ley de la inercia nos dice que se movería en línea recta a menos que actuara sobre ella una fuerza externa. Y puesto que no se mueve en línea recta, podemos inferir que una fuerza -la gravedad- es responsable de que su trayectoria se curve y adquiera la forma de su órbita. Por otra parte, de la tercera ley de Newton se puede deducir que la fuerza de la gravitación es *mutua*. La Tierra no sólo ejerce una fuerza gravitatoria sobre la Luna, sino que la Tierra también está sometida a una fuerza gravitatoria de la Luna.

que la de la curva; en la primera, la determinación de la dirección es siempre idéntica, en la segunda, la desviación tangencial de la recta obliga a introducir magnitudes angulares que complican su construcción matemática. Cfr. S. Turró en su traducción y notas de *El Mundo. Tratado de la luz*, Anthropos, Barcelona, 1989, pp. 124-125.

A partir de estos principios se explicará toda la *dinámica* del universo conocido. Dinámica de la que Descartes había estado cerca, en el tiempo en que aceptaba la *vis attractiva*, como la fuerza de gravedad que atrae los cuerpos hacia el centro de la Tierra. Pero al renunciar a ella (a la *vis attractiva*) dejaba a mitad de camino la formulación de la física moderna y el universo anclado en un mecanicismo carente de fuerzas. Pasados más de cien años el universo se ordenaría bajo la ley de la gravitación universal.⁶⁶

⁶⁶ Al matematizar Newton el concepto de fuerza y diseñar *su* universo sobre la base de la acción gravitacional a distancia en sus *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (1687) -obra que incluso en el título es una clara crítica a la falta de matematización de los *Principia Philosophiae* de Descartes-, se abrió una ardua y dura polémica entre *mecanicistas cartesianos* y *dinamistas newtonianos*, polémica en la que el tema de los torbellinos ocupó un lugar central: mientras que para los segundos era un ejemplo de pura construcción especulativa, para los primeros era el medio de evitar la postulación de una ininteligible fuerza ejercida a distancia y sin medio físico de transmisión.

2. LA CONTROVERSIA SOBRE LA FILOSOFÍA NATURAL CARTESIANA

En el presente capítulo me ocuparé brevemente de un aspecto de la difusión histórica de la física cartesiana después de la muerte de Descartes, en concreto de la propagación de las ideas de éste en la obra de Rohault. También expondré algunas reacciones a esa difusión tanto en el continente como en las islas británicas. Algunas de estas reacciones, en particular la de Clarke, son posteriores a la obra de Newton y motivadas por ésta. Aun así las mencionaré antes de hablar de Newton, pues, al ser un destilado de las críticas de Newton a Descartes, creo que tiene interés presentarlas a manera de introducción.

2.1 La difusión del cartesianismo a través del *Tratado* de Rohault

En el capítulo anterior se vio cómo Descartes anticipaba un buen número de temas e ideas de la física moderna. Recordemos, sin ir más lejos, la idea con la que cerrábamos el capítulo anterior: la noción moderna de inercia como continuidad de movimiento rectilíneo. Sin embargo, también veíamos que Descartes no aceptó, al menos de manera explícita, que los cuerpos tuvieran fuerzas ínsitas o asociadas⁶⁷ y rechazaba que el vacío existiera. En estos aspectos su física se separaba de las ideas que triunfarían con Newton.

⁶⁷ Aun si por un tiempo Descartes aceptó expresamente aunque de forma al parecer no muy resuelta la existencia de un tipo de fuerza ínsita: la *vis attractiva* como fuerza de gravedad.

De cualquier manera, el tránsito del cartesianismo al newtonianismo no se daría de manera inmediata. No obstante que en el ambiente científico inglés se reconociera la superioridad de la física newtoniana, según Larry Laudan⁶⁸ no existía una clara definición por parte de los científicos a favor de alguna de las dos formas explicativas. Aunque era un hecho que la explicación mecanicista y, en particular, la *teoría de los vórtices*, no daba cuenta de ciertos fenómenos (como vimos de pasada y volveremos a ver luego) al menos tenía el mérito de plausibilidad.⁶⁹ Por otro lado, como comenta Laudan a propósito de la tesis del vacío de los newtonianos, “una cosa era afirmar la existencia del vacío [pero] probarla [era] otra muy distinta”.⁷⁰ De hecho, “como el pleno se resistiera a desvanecerse”⁷¹ Newton y sus seguidores habrían de modificar su propia teoría para vencer esa resistencia.⁷²

Una de las muestras de la pervivencia y gran aceptación de la física cartesiana, aun mucho después de la aparición de las obras de Newton, es el *Tratado de Física* de Jacques Rohault (1620-1672), que sería traducido al latín y posteriormente al inglés por Samuel Clarke (1675-1729) con el título *A System of Natural Philosophy* (Un Sistema de Filosofía Natural). Expondré a continuación algunos rasgos principales de la obra de Rohault y en particular, los más

⁶⁸ En su “Introduction” al *System of Natural Philosophy* de Rohault, Johnson Reprint Corporation, Nueva York, 1969, p. 9.

⁶⁹ Los vórtices, por ejemplo, como ya señalamos, proporcionaban un modelo intuitivo con base en la experiencia cotidiana.

⁷⁰ Citado en L. Benítez y J. A. Robles, *El espacio y el infinito en la modernidad*, Cruz, México, 2000, p. 166.

⁷¹ Benítez y Robles, *op.cit.* p. 167.

⁷² Según Laudan lo consigna, la demostración de Newton, en los libros 2 y 3 de *Principia*, de que los vórtices no existían, no es concluyente, lo cual significó entonces para los newtonianos, el tener que modificar el libro 2, durante la segunda mitad del siglo XVIII,

directamente relacionados con los aspectos de la física de Descartes que nos han venido ocupando.

Entre 1660 y 1670 un grupo de científicos y otras personalidades importantes de la sociedad parisina acudían, cada miércoles, a casa de Rohault, conocido e influyente físico de la escuela cartesiana y el mejor portavoz de esa doctrina.⁷³ Poco después, en 1671, se daba a conocer la primera edición en francés de su *Tratado de Física*, que exponía, bien que con alguna diferencia metodológica, toda la física cartesiana.

Rohault comulga plenamente con el rechazo de Descartes a las explicaciones aristotélicas y escolásticas de los cambios del mundo natural en términos de propiedades ocultas:

Otra de las cosas que impide el progreso de la filosofía natural, es su tratamiento en exceso metafísico; y la disputa acerca de cuestiones muy abstractas y generales, que aun cuando todos los filósofos estuvieran de acuerdo en sus ideas sobre estas cuestiones, de cualquier manera, ésta no ayudarían a explicar, el mínimo efecto particular en la naturaleza; mientras que toda ciencia útil debe descender inmediatamente a los particulares (...) En una palabra, creo que deberíamos investigar cuidadosamente por qué la materia produce un efecto particular y no otro, y no acostumbrarnos a decir que es el efecto de cierta *cualidad*, ya que por ello es que somos conducidos a decir palabras en lugar de dar razones (...) [Palabras] que de hecho no tienen ningún sentido determinado. A decir verdad, ello muestra un espíritu pobre y que se satisface pronto; el creer que conocemos más de la naturaleza que otros hombres porque aprendimos que hay cualidades ocultas y podemos dar una respuesta general a todas las cuestiones que conciernen a los diferentes efectos de la naturaleza.⁷⁴

para encontrar la refutación definitiva a los vórtices. Cfr. Benítez y Robles, en *op.cit.* p. 167.

⁷³ El éxito de tales sesiones aumentaría más aún con su sucesor Regis -que no debe confundirse con Regius de Holanda, también cartesiano-, quien tras haber difundido el cartesianismo en distintas ciudades francesas daba en 1680 sus conferencias en París con tan gran afluencia de público que la gente acudía con gran antelación para asegurarse un sitio. Cfr. p. 16 de la "Introducción" por Antonio Beltrán Marí a las *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* de Fontenelle, Editora Nacional, Madrid, 1982.

⁷⁴ La traducción del inglés al español de los pasajes que se presentan es mía, por lo que transcribo los extractos del texto original.

Una diferencia metodológica con Descartes radica seguramente en el mayor énfasis que Rohault pone en la necesidad de la experimentación, aun para establecer cuestiones que Descartes habría dado por sentadas en virtud de razonamientos metafísicos y por tanto no empíricos. Esto no quiere decir que la experimentación no tenga un límite para Rohault. Según él debía guardarse un equilibrio entre la experimentación y la argumentación pues, si bien sin la experimentación no habría nuevos descubrimientos, sin la argumentación no se podrían sacar conclusiones a partir de los experimentos.

Un tercer defecto que he encontrado en el método de los filósofos, es que algunos de ellos apoyan enteramente al razonamiento y dependen tanto de la fuerza de sus argumentos (especialmente si se toman de los antiguos) que juzgan superfluo hacer ningún experimento. Otros, por el contrario, cansados de tan tediosos argumentos, la mayoría de los cuales no son concluyentes o pertinentes, piensan que todo debería reducirse a la experimentación y que no debería haber razonamiento en absoluto. Pero estos dos extremos obstaculizan por igual el progreso de la filosofía natural. Pues aquellos que caen en el primero de los errores, se privan a sí mismos del mejor medio de hacer nuevos descubrimientos y de confirmar, asimismo, sus propios argumentos. Y quienes caen en el segundo error, al privarse a sí mismos de la libertad de sacar conclusiones, impiden obtener el conocimiento de una serie de verdades, que pueden, en muchas ocasiones, ser deducidas de un sólo experimento. Por tanto, no puede ser sino muy ventajoso mezclar la experimentación y la argumentación.⁷⁵

"[Another] thing which hinders the Progress of Natural Philosophy, is the Treating thereof in a Manner too metaphysical; and the Disputing about Questions to abstract and general, that though all Philosophers were agreed in their Notions of them, yet they could not help to explain the least particular Effect in Nature; whereas every useful Science ought to descend immediately to Particulars (...) In a Word, I think we should carefully enquire into the Cause why Matter produces such a particular Effect rather than any other, and not accustom ourselves to say that it is the Effect of a certain *Quality*; for from hence it is that we are led to give Words instead of Reasons (...) [Words] which indeed have no determinate Meaning. To say the Truth, it shows a mean Spirit, and one that is soon satisfied; to believe that we know more of Nature than other Men, because we learn'd that there are occult Qualities, and can give a general Answer to all Questions proposed to us concerning the different Effects of Nature". (*A System of Natural Philosophy*, Prefacio, Johnson Reprint Corporation, Nueva York, 1969.)

⁷⁵ "A third Defect which I have found in the Method of Philosophers, is, that some of them are wholly for Reasoning, and depend so much upon the Strength of their Arguments (especially if they be borrowed from the Ancients) that they judge it superfluous to make any Experiments. Others on the contrary, quite tired with such tedious Arguments, the

Respecto a la naturaleza esencial de la materia Rohault sostiene una tesis estrictamente cartesiana:

Y como concebimos la extensión antes que las otras tres [propiedades esenciales, i.e., *divisibilidad, figura e impenetrabilidad*] y como no podemos concebir estas últimas sin antes suponer la extensión, debemos pensar entonces, que la extensión es aquello en lo que consiste *la esencia* de la materia.⁷⁶

Rohault adoptaba pues la radical geometrización cartesiana de la materia, al considerar la extensión como esencia de ésta y no tan sólo como una propiedad no esencial. Consiguientemente, a Rohault también le es imposible concebir el vacío, como a continuación se puede constatar:

A partir de lo que hemos establecido con respecto a la esencia de la materia, inferimos en primera instancia que lo que los filósofos llaman vacío no puede ser: ya que por vacío dan a entender un espacio vacío de materia, pero con espacio (o extensión) nos referimos a lo mismo a lo que nos referimos con materia; y preguntarse si puede haber un espacio sin materia es lo mismo que preguntarse si puede haber materia sin materia, lo cual es una contradicción manifiesta. Y no significa nada decir que concebimos un espacio, en el que suponemos que no hay luz, color, dureza, calor, peso, en una palabra, en el que suponemos que no hay cualidad alguna que podamos imaginar; puesto que al hacer esto y negar todas estas *propiedades de la extensión, sólo se quitan los accidentes de la cosa cuya esencia real se está suponiendo al mismo tiempo.*⁷⁷

greatest Part of which are not conclusive, or are nothing to the Purpose, think every Thing ought to be reduced to Experiment, and that there should be no Reasoning at all. But both these Extremes do equally hinder the Progress of Natural Philosophy. For they who fall in the first of these Errors, hinder themselves of the best Means of finding out new Discoveries, and of confirming their own Arguments likewise. And they who fall into the second, by depriving themselves of the Liberty of drawing Conclusions, hinder the knowledge of a large Train of Truths, which may many Times be deduced from one single Experiment. Whereof it cannot but be very advantageous to mix Experiments and Arguments together" (*A System of Natural Philosophy, op.cit.* Prefacio.)

⁷⁶ "And because we conceive *Extension* before the other three [essential Properties: *Divisibility, Figure and Impenetrability*], and because we cannot conceive the other Three, before first supposing *Extension*, we ought to think that *Extension* is that in which the Essence of Matter consists." (*A System of Natural Philosophy, op.cit.* p. 24.) (Las cursivas son mías.)

⁷⁷ "From what we have now laid down concerning the Essence of Matter, we infer in the first place, *that what the Philosophers call a Vacuum cannot possibly be*: For by a Vacuum they mean a Space void of Matter; but by Space (or Extension) we mean the same thing as Matter; and to ask if there can be any Space without Matter, is the same as to ask, if

El *Tratado* era también estrictamente cartesiano en su tratamiento, por ejemplo, del movimiento de los cuerpos en general y de la teoría de los movimientos planetarios por medio de vórtices en particular.

El *Tratado* habría de utilizarse en la enseñanza por más de siete décadas, si bien no de manera homogénea. La vigencia tan larga del *Tratado*, al menos en algunos círculos, aun mucho después de la publicación de las ideas newtonianas, se debe, en gran parte, a la importancia que la metafísica tenía para muchos de los filósofos naturales. De ahí que una de las grandes virtudes del cartesianismo para estos estudiosos era la profunda defensa y justificación metafísica de sus tesis, aun de sus tesis físicas, como puede verse especialmente en el caso de las ideas relacionadas con la inexistencia del vacío, mientras que el newtonianismo se orientaría a menudo hacia una concepción instrumentalista, no tan 'deseable', en la que lo que contaría más sería explicar los fenómenos independientemente de si la explicación tenía una justificación metafísica apropiada.⁷⁸

Por otra parte, el texto de Rohault tenía la virtud de no ser muy técnico (y por ende inteligible para la mayor parte de la gente), al contrario de los *Principia*

there can be any Matter without Matter, which is a manifest Contradiction. And it signifies nothing to say, that we conceive a Space, in which we suppose there is no Light, Colour, Hardness, Heat, Weight, in a Word, in which we suppose there is not any one Quality that we can imagine; for when this is done, and all these Things denied of Extension, it is the *Accidents* only that are taken away from the Thing, whose real Essence is at the same time supposed" (*A System of Natural Philosophy, op.cit. pp. 27-28.*)

⁷⁸ Al menos en algunos casos Newton parece mucho más instrumentalista que Descartes y se muestra dispuesto a rechazar tesis filosóficamente plausibles si ello le lleva a teorías más adecuadas a la experiencia. Tomemos un ejemplo: para Descartes la materia era una *sustancia*, esto es, un sustrato ontológico duro y, como se verá en el capítulo 3, para Newton la materia no es necesariamente tal. Según Newton, "whatever reality we attribute to bodies arises from their Phaenomena and sensible qualities" (cualquier realidad que se le atribuya a los cuerpos surge de sus fenómenos y cualidades sensibles), citado en Z. Bechler (ed), *Contemporary Newtonian Research*, p. 174.

de Newton (críticos para todo aquel que no fuera un especialista en la física y matemática newtonianas).

Final e irónicamente, Samuel Clarke, el divulgador newtoniano, ayudó indirectamente a la subsistencia del cartesianismo. Clarke, consciente de que los catedráticos de las universidades difícilmente aceptarían los *Principia* de Newton, tan alejados de la ortodoxia aristotélica, pensó que en cambio preferirían el cartesianismo de Rohault, quien sostenía que lo que pretendía, con su *Tratado* no era rebatir a Aristóteles, sino a los intérpretes de éste (que seguramente, a decir del mismo Rohault, no lo entendían). Así, Clarke intentó corregir los errores cartesianos con extensas notas newtonianas a su traducción del *Tratado* de Rohault, el *Sistema de Filosofía Natural*, aparecido por primera vez en 1697. Pero lo único que logró fue que el *Sistema* se siguiera reeditando hasta 1746, si bien ya como un tratado mitad cartesiano, mitad newtoniano, como resultado de todas sus anotaciones.

2.2 La transformación del *Tratado* de Rohault a manos de Clarke

Clarke se graduó en Cambridge en 1694 con una tesis que defendía la filosofía natural de Newton, en un momento en que en esta universidad imperaba el cartesianismo. Con miras a presentar un texto en física que fuera aceptado por los estudiosos de la época, decidió traducir el *Tratado* de Rohault, pero introduciendo

un gran número de anotaciones newtonianas en su edición.⁷⁹ Si bien la finalidad de Clarke, al escribir sus notas al calce, era la de 'neutralizar' los errores de la física cartesiana, el hecho es que las correcciones acabaron convirtiéndose en un texto en sí. Así irónicamente la obra que, en un momento, sirvió para difundir el cartesianismo, se convirtió igualmente (aunque de manera gradual) en uno de los textos más importantes para la difusión del newtonianismo.

Clarke defiende en sus notas la existencia del vacío en contra de la postulación del pleno o identidad materia-extensión y del 'fluido etéreo'⁸⁰ que llenaba todos los intersticios. En lugar del pleno material con sus vórtices, mediante de los cuales se explicaba mecánicamente el movimiento, Clarke postula un universo de *partículas de materia*,⁸¹ moviéndose a través del vacío por causa de fuerzas de atracción y repulsión. Estas fuerzas, invisibles e intangibles,⁸² explicaban, entonces, el funcionamiento del mundo.

Sin embargo, y dado que además de otros innumerables fenómenos de la naturaleza, esa gravitación universal de la materia, que se manejará de manera más plena después, no puede de ninguna manera surgir del impulso mutuo de los cuerpos (ya que todo impulso debe estar en proporción a las superficies, pero la gravedad está siempre en proporción a la cantidad de materia sólida y por tanto, ha de ser necesariamente adscrita a una causa que penetra la sustancia misma

⁷⁹ Señala Laudan que para ser precisos se debe mencionar que algunas de las notas de las partes 1 y 2 del *Sistema* fueron hechas por Charles Morgan. Cfr. la "Introducción" al *System of Natural Philosophy* por L. Laudan, *op.cit.* p. 24.

⁸⁰ Nombre que da Newton al segundo elemento o materia sutil de Descartes.

⁸¹ Cfr. Clarke, *A System of Natural Philosophy, op.cit.* p. 54.

⁸² Clarke, *op.cit.* p. 54. Acerca de esta cuestión, Laudan sostiene que es aquí donde Clarke se enfrenta a su mayor problema para defender la teoría newtoniana. Está de acuerdo con Rohault en que la acción a distancia es impensable, yendo tan lejos como para afirmar que un cuerpo no puede mover a otro sino por impulso, lo cual era equivalente a aceptar el modelo cartesiano. Sin embargo, Clarke recapacita y afirma que la atracción existe debido no a la acción de la materia misma, sino debido a una "causa imaterial". Cfr. las observaciones al respecto de Maria Boas y Rupert Hall en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1961, p. 196.

interior de la materia sólida), por tanto, toda atracción semejante ciertamente ha de permitirse, no como si fuese la acción de la materia a distancia, sino como la acción de alguna causa inmaterial que perpetuamente mueve y gobierna la materia por ciertas leyes.⁸³

Como dicen Laura Benítez y José Antonio Robles,⁸⁴ era fundamental para la nueva concepción de los newtonianos dejar claramente establecido que el universo no era un pleno material, ya que la explicación cartesiana de una materia sutil que penetra todos los 'espacios' les parecía contraria a la razón y a la experiencia. En el caso de los planetas, por ejemplo, no se observaba un retraso en el movimiento de éstos, como sería de esperarse si en todo el universo se hubiera hallado tal materia (fluido como lo llamaba Newton); además, el movimiento de los planetas (y de los cuerpos en general) se explicaba mejor si se postulaba un espacio donde y hacia donde moverse. Clarke, al hacer sus anotaciones al texto de Rohault, reconoce, como sostiene Laudan,⁸⁵ la necesidad de seguir la estrategia de Newton de atacar el fundamento de la física cartesiana, o sea el plenismo. Así, desde las primeras páginas de la primera parte del *Sistema*, donde Rohault establece que la esencia de la materia es la extensión y que por ende es imposible el vacío, Clarke inmediatamente replica que la esencia de la materia no es la extensión sino la impenetrabilidad. Además, subraya que el

⁸³ "Yet because, besides innumerable other Phaenomena of Nature, that Universal Gravitation of Matter, which shall be more fully handled afterwards, can by no means arise from the mutual Impulse of Bodies (because all Impulse must be in proportion to the Superficies, but Gravity is always in proportion to the Quantity of solid Matter, and therefore of Necessity must be adscribed to some cause that penetrates the very inward Substance it self of solid Matter) therefore all such *Attraction*, is by all means to be allowed, as if not the Action of Matter at a Distance, but the Action of some inmaterial Cause which perpetually moves and governs Matter by certain Laws". (*A System of Natural Philosophy, op.cit.* p. 54.)

⁸⁴ *Op cit.* p. 174.

⁸⁵ Cfr. la "Introducción" al *System of Natural Philosophy, op.cit.* p. 26.

espacio donde se da el movimiento de los cuerpos no es materia, aunque sea extensión. De donde se infiere que el espacio vacío existe y negarlo es contrario a la experiencia. En el fondo de las réplicas de Clarke al *Tratado* de Rohault subyace, claro está, una crítica a la geometrización radical de la materia por parte de los cartesianos.

Clarke dice:

Evidentemente se desprende de la gravedad, como será explicado posteriormente, y del movimiento de los cometas y de las vibraciones de los péndulo, que el espacio mismo no es materia. *Por lo que no es la extensión, sino la extensión sólida, impenetrable, la que está dotada con el poder de resistir, la que puede con mayor verdad, denominarse la esencia de la materia.*⁸⁶

En otro lugar abunda sobre estas afirmaciones:

*Además, el vacío está demostrado por el movimiento de los cometas. Pues los cometas son acarreados con un movimiento continuo a través de los espacios celestiales, de todas partes y de todas las maneras, y hacia todas partes es evidente de ahí que los espacios celestiales deben estar vacíos de cualquier resistencia sensible y, consecuentemente, de cualquier materia sensible (...) De ahí que si no hubiera vacío, se seguiría que un cuerpo que se moviese en el aire, o en un lugar en el que se extrajera el aire encontraría tanta dificultad para moverse, como si fuese movido en mercurio; lo cual es contrario a la experiencia y, por tanto es evidente que hay un vacío en la naturaleza y además, ocupa con mucho la mayor parte. Así, puesto que la esencia de la materia no consiste en la extensión sino en la solidez impenetrable, [entonces] debemos decir que el mundo entero está conformado de cuerpos sólidos que se mueven en un vacío. Y no debemos temer que los fenómenos de la naturaleza no se expliquen bien debido a esto; dado que la explicación de los fenómenos que parecen depender de la explicación del pleno; i.e., el barómetro, el flujo y reflujo de la marea, los movimientos de las estrellas y la luz pueden ser explicados, de manera más fácil y plena por medio de otros principios.*⁸⁷

⁸⁶ "It evidently appears from Gravity, as shall be afterwards explained, and from the Motion of Comets, and from the Vibrations of Pendulums, that *Space it self* is not *Matter*. Wherefore not *Extension* but *solid Extension*, impenetrable, which is endued with the *Power of resisting*, may be more truly called the *Essence of Matter*" (*Op.cit.* p. 24. Las cursivas son mías.)

⁸⁷ "Besides, a Vacuum, is demonstrated from the Motion of Comets. For since the Comets are carried with a continual Motion, through the Heavenly Spaces, from every Part, and all Ways, and to all Parts it is evident from thence, that the Heavenly Spaces, must be void of any sensible Resistance, and consequently of any sensible Matter (...) Whereof, if there

Una de las ideas de Descartes recogidas por Rohault, que Clarke critica especialmente, es la teoría de los vórtices.⁸⁸ Esta teoría implica que el movimiento real de los cometas del Sistema Solar registraría un retraso detectable al entrar en los torbellinos; no explicaba entonces que los cometas cruzaran varios vórtices en su trayecto sin ser desviados de su órbita o arrastrados hacia dentro de uno de los torbellinos. La teoría también implicaba que las órbitas de los cometas y de los demás cuerpos que giran alrededor del Sol no serían elípticas, en contra de lo que Kepler ya había mostrado.⁸⁹ Clarke también recoge la sentencia crítica de los newtonianos de que no era posible cuantificar la teoría cualitativa de los vórtices de Descartes, i.e., que la teoría de los vórtices no podía ser traducida matemáticamente.^{90;91}

were no Vacuum, it would follow, that a Body moved in Air, or in a Place out of which the Air is exhausted, would meet with as much Difficulty, as if it were moved in Quick-silver; which is contrary to Experience, and therefore it is evident, that here is a Vacuum in Nature, and it is much the greatest Part. Since therefore the essence of Matter does not consist in Extension, but in impenetrable Solidity, we must say, that the whole World is made up of solid Bodies which move in a Vacuum. And we need not fear, that the Phaenomena of Nature should not be so well explained thereby; for the Explication of those Phaenomena which seem chiefly to depend upon a Plenum, viz. The Barometer, the Flux and Reflux of the Sea, the Motions of the Stars, and of Light, these can be more easily and fully explained upon other Principles" (Clarke, *op.cit.* p. 27.) (Las cursivas son mías.) Los otros principios a los que se refiere Clarke en este caso son seguramente las fuerzas asociadas a la materia que, como se ha visto, los cartesianos rechazaban.

⁸⁸ Laudan señala que refutada la teoría de los vórtices, todas las demás concepciones cartesianas, como la identificación del espacio con la extensión, la materia sutil y la conservación del movimiento (además de la luz como presión del éter), no se podían sostener. Cfr. "Introducción" al *System of Natural Philosophy*, p. 26.

⁸⁹ La teoría llevaba a predicciones erróneas de ciertos eventos como le sucedió a Cassini, quien siendo anti-newtoniano, al no poder explicar el atraso o adelanto periódico de los eclipses de los satélites de Júpiter respecto a los valores previstos, lo atribuyó a que el reloj celeste no era preciso. Cfr. la nota al pie de la pág. 49 en la Introducción de Antonio Beltrán Marí a las *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, *op.cit.*

⁹⁰ Descartes quizá no creyó urgente un estudio cuantitativo detallado de los cielos. Su deseo fue seguramente escribir una obra cosmológica, opuesta a Aristóteles, en la que se diera una indicación de cómo explicar los fenómenos terrestres y celestes en función de las causas mecánicas que los producen y no a partir de movimientos circulares naturales o un mundo esférico limitado (ideas de la física y cosmología aristotélicas, todavía

2.3 El fin de la controversia entre cartesianos y newtonianos

En 1728, Voltaire (1694-1778) escribía sus *Cartas Filosóficas*, las cuales fueron publicadas en 1734. En estas cartas, ensayos cortos, Voltaire expone su experiencia de los acontecimientos filosóficos e históricos durante su estancia en Inglaterra (uno de sus tantos destierros) de 1726 a 1728.

Para mi propósito, i.e., para la exposición de la resistencia del cartesianismo frente al newtonianismo en el ambiente científico de los siglos XVII y XVIII, son relevantes dos de las cartas: la décimocuarta y la décimoquinta, *Sobre Descartes y Newton* y *Sobre el Sistema de la Atracción*, respectivamente. En ellas se deja ver, nuevamente, la dificultad que había para erradicar (aun para esas fechas) la concepción cartesiana del mundo físico. Y es que como R. Dugas sostiene,⁹² el mecanicismo cartesiano no era sólo un modelo cosmológico más, sino también y principalmente un modelo de inteligibilidad y racionalidad que atrajo muchas de las grandes personalidades de la segunda mitad del siglo XVII y la primera del XVIII.

Voltaire, una de las grandes personalidades intelectuales y públicas de estos siglos, aun siendo uno de los partidarios y grandes divulgadores del

compartidas por Copérnico, por ejemplo). Cfr. Ana Rioja y Javier Ordóñez, *Teorías del Universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999, p. 145.

⁹¹ De todos modos, cuando Newton critica los vórtices cartesianos en el Escolio a la segunda edición de los *Principia* (pp. 617-621 en la edición de A. Escotado, Tecnos, Madrid, 1997), lo hace diciendo que no puede explicar la regularidad en tiempos y distancias del movimiento cometario y planetario, mas no que *per se* los vórtices no puedan ser descritos matemáticamente.

⁹² Citado por Antonio Beltrán Marí en la Introducción a las *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* de Fontenelle, *op.cit.* p. 41.

newtonianismo,⁹³ no podía en su papel de crítico histórico de las controversias interpretativas, dejar de reconocer la fuerza implícita del cartesianismo, aunque las más de las veces con un toque irónico.

No creo que se pretendá, en verdad, comparar en nada su filosofía [la de Descartes] con la de Newton: la primera es un ensayo, la segunda una obra maestra. Pero quien nos ha puesto en la vía de la verdad vale quizá tanto como el que ha ido después hasta el final de ese camino. Descartes devolvió la vista a los ciegos; vieron las faltas de la antigüedad y las suyas. La carretera que abrió ha llegado a ser, a partir de él, inmensa.⁹⁴

Voltaire tenía que conceder, al igual que los demás contendientes newtonianos, que la cuestión de la 'atracción' era problemática, como lo sostenían sus opositores cartesianos:⁹⁵ "entre vosotros, cartesianos, todo sucede por impulso del que nada se comprende; en el Sr. Newton es por una atracción cuya causa no se conoce mejor".⁹⁶ Pero Voltaire continúa como si esto en nada afectara al establecimiento del newtonianismo. Sin embargo, afectaba. Y es que si bien la ciencia newtoniana era mucho más precisa y más exacta matemáticamente que la cartesiana, existía la sensación de que para completar su obra Newton debía ofrecer una explicación de la 'atracción' basada en verdades probadas, de acuerdo a los requisitos de la época. Bajo la perspectiva de quienes requerían tal

⁹³ Voltaire era preminentemente un divulgador de los acontecimientos y no un científico que entendiese completamente la física ni la ciencia en general. A este respecto comenta el físico Shahen Hacyan: "Voltaire intuyó la trascendencia de la obra de Newton, gracias, en particular, a la ayuda de su amigo Maupertuis, quien era el único científico francés que había aceptado la teoría de Newton. Voltaire se propuso difundir la nueva ciencia en Francia, pero no era matemático y sólo entendía los rudimentos de la nueva filosofía natural. Afortunadamente para él, y para el desarrollo posterior de la física, el destino puso en su camino a la marquesa de Chatelet". Cfr. *Cuando la ciencia nos alcance*, FCE, México, 1988, p. 14.

⁹⁴ Voltaire, *Cartas Filosóficas*, Alianza, Madrid, 1988, p. 122.

⁹⁵ De hecho, la atracción era a los newtonianos lo que los torbellinos a los cartesianos: su talón de Aquiles, haciendo uso de una expresión de Laudan.

⁹⁶ Voltaire, *op.cit.* pp. 117-118.

explicación, la atracción no tenía ningún sentido 'físico'.⁹⁷ Newton afirmaba que no entendía la atracción ni como una propiedad intrínseca de los cuerpos ni como una fuerza física, sino como una *fuerza matemática*. Esto es, a Newton le interesaba demostrar que había una relación matemática entre los movimientos de los cuerpos y las fuerzas que causan dichos movimientos. Y en la medida en que lo que se pretendía obtener en filosofía natural eran demostraciones precisas, ello exigía no disociar la matemática de la filosofía natural, como a algunos les parecía que Descartes hacía.⁹⁸ Sin embargo, la *justificación* matemática de la atracción como causa del movimiento, que dejaba incognoscible la naturaleza física de la atracción, sugería a muchos en el continente un peligroso retorno a la física

⁹⁷ En cierto modo, la disputa teórica entre cartesianos y newtonianos era una disputa que de hecho no se podía dirimir en la época. Los newtonianos encontraron buenas razones empíricas para negar la existencia del mecanicismo (y los mismos cartesianos se daban cuenta que su teoría de los vórtices no era muy precisa). Los cartesianos, por su parte, nunca encontraron buenas razones para creer en una 'atracción' por medio de fuerzas a través de un vacío que (empíricamente) no se podía constatar. Tiene interés notar que la no-existencia de un fluido etéreo se vino a probar convincentemente hasta 1887 con el experimento crucial de los norteamericanos Michelson y Morley, quienes paradójicamente intentaban medir la velocidad de la Tierra con respecto al éter. El resultado negativo del experimento fue durante algunas décadas uno de esos detalles molestos que no encajan en ninguna teoría bien establecida, hasta que surgió la teoría de la relatividad, esto es, 200 años después de que Newton propusiera la existencia del vacío. Cfr. Shahan Hacyan, *Relatividad especial para estudiantes de física*, FCE, México, 1995, pp. 15-16.

⁹⁸ Por ejemplo, Roger Cotes en el Prefacio del Editor a la Segunda Edición de los *Principia* (1713) señala que hay quienes pueden componer una "fábula ingeniosa" imprecisa y no matemática sobre el mundo natural, pero que no dejará de ser una fábula. Cfr. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, trad. de Antonio Escohotado, Tecnos, Madrid, 1997, p. 10. A este mismo respecto, Koyré señala que Huygens y Leibniz consideraban este tipo de física sin matemáticas un "roman philosophique". Citado por A. Beltrán Marí en su Introducción de las *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* de Fontenelle, p. 42.

Huygens era cartesiano, y en 1669, en una famosa polémica en la que tomaron parte varios científicos de la época, unos a favor y otros en contra del cartesianismo, trató de calcular matemáticamente la fuerza de gravedad cartesiana. Pero el intento fracasaría. Para tener una explicación más detallada de este experimento, véase L. Benitez "Clarke y la física de Rohault", *Diánoia*, vol. 43, México, 1997, pp. 68-69.

cualitativa precartesiana,⁹⁹ por más que Newton reiteradamente rogara no confundir la atracción con las 'cualidades ocultas' de los antiguos.¹⁰⁰

Tiene interés notar que la controversia entre cartesianos y newtonianos adquirió por momentos un matiz nacionalista. Entre 1688 y 1713 se libró una de las tantas guerras entre Inglaterra y Francia,¹⁰¹ lo cual provocó que se interrumpieran los contactos de la Academia de las Ciencias y la Royal Society¹⁰² y por ende que los científicos franceses e ingleses se aislaran. Un resultado de esta guerra fue quizá que los 'continentales' se resistieran largo tiempo a la aceptación de los logros científicos de la Isla.

De todos modos, a esa resistencia subyacía un enfrentamiento de dos modos distintos de entender la investigación científica. En Inglaterra se imponía un empirismo inductivo frente a un racionalismo deductivo en el continente. Este aspecto se puede constatar en los escritos de Voltaire, que si bien era francés, admiraba a Locke al igual que a Newton. La contrapartida es Fontenelle (1657-1757), por ejemplo, asimismo francés, y quien, aun cuando tenía el cargo de secretario de la Academia de las Ciencias desde 1699, que le obligaba a registrar los acontecimientos científicos de manera imparcial, de cualquier modo siempre

⁹⁹ Recordemos una vez más que uno de los méritos principales de la física mecanicista de Descartes había sido justamente el haber desterrado las entidades ocultas como elemento explicativo de la estructura y funcionamiento del Universo.

¹⁰⁰ Por ejemplo en los *Principia Mathematica*, en la primera edición en 1687.

¹⁰¹ La guerra en cuestión, en esta ocasión, era una guerra provocada por Luis XIV, al ratificar a su nieto como rey de España, siguiendo el último testamento del difunto rey de ese país -evidentemente con fines hegemónicos-. Luis hizo caso omiso de un convenio firmado con el emperador de Austria y de las promesas hechas al monarca inglés.

¹⁰² La *Academia de las Ciencias* en Francia se fundó en 1666, teniendo como antecedente el famoso grupo de Mersenne (conocido como "el hombre de Descartes"). Sus reuniones habían tenido como objeto temas de carácter científico. En 1662 se había fundado en Inglaterra la *Royal Society*, homóloga de la Academia y de la cual Newton sería presidente.

dejó ver su reserva y hasta cierta reticencia hacia el newtonianismo. Veamos un pasaje de su *Elogio* a Newton en 1728.¹⁰³

Declara [Newton] con toda franqueza que reintroduce esta atracción sólo como una causa que desconoce y cuyos efectos únicamente estudia, compara y calcula, mientras que para evitar el reproche de cualidades ocultas de los escolásticos dice que él sólo establece cualidades manifiestas y bien visibles por sus fenómenos, pero que las causas de estas cualidades están sin duda ocultas y deja a otros filósofos la tarea de investigarlas, ¿pero, no son propiamente las causas a las que los escolásticos llamaron cualidades ocultas, pese a que sus efectos están plenamente a la vista? además, ¿puede pensar Sir Isaac que otros podrían descubrir esas cualidades ocultas que él no pudo descubrir?, ¿con qué esperanza de éxito pueden investigar otros después de él?¹⁰⁴

La reticencia de Fontenelle hacia la gravitación de Newton, además de su adhesión al modelo cosmológico de los torbellinos, se hace más evidente en ciertos de sus escritos posteriores, como *las Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* de 1736, de donde tomo el siguiente pasaje:

-Pero- interrumpió la marquesa-, ¿por qué hay planetas que giran en torno a otros planetas que no valen más que ellos? Realmente me parecería más regular y uniforme que todos los planetas, grandes o pequeños, no tuviesen más que el mismo movimiento alrededor del Sol.

-¡Ah!, señora -repliqué-, *si supierais lo que son los torbellinos de Descartes*, esos torbellinos cuyo nombre es tan terrible, y la idea tan agradable, no hablarías como lo hacéis.

-Debí perder la cabeza- dijo ella riéndose-; bueno será saber qué son los torbellinos. Acabad de volverme loca, que ya no me controlo; en filosofía ya no conoceré lo que es la represión. Dejemos hablar al mundo y démonos a los torbellinos.

-No os conocía tales arrebatos -repliqué yo-; es una lástima que no tengan por objeto más que los torbellinos. Lo que se llama un torbellino es una masa de

¹⁰³ Cabe señalar que Voltaire no perdió ocasión para criticar el tono en que Fontenelle escribió el *Elogio de Sir Isaac Newton*: "Aquí han leído con avidez y han traducido al inglés el elogio que el Sr de Fontenelle ha pronunciado del Sr Newton en la Academia de las Ciencias. Se esperaba en Inglaterra el juicio del Sr Fontenelle como una declaración solemne de la superioridad de la filosofía inglesa; pero cuando se ha visto que comparaba Descartes a Newton, toda la Sociedad Real de Londres se ha sublevado. Lejos de asentir el juicio, se ha criticado ese discurso". Pero además, continúa Voltaire: "Incluso algunos (y esos no son los más filósofos) se han sentido chocados por esta comparación solamente porque Descartes era francés". Cfr. Voltaire, *op.cit.* pp. 118-119.

¹⁰⁴ Fontenelle, *Elogio de Sir Isaac Newton*, Alianza, Madrid, 1983, pp. 36-37.

materia cuyas partes son independientes unas de otras, y se mueven todas en el mismo sentido. Mientras tanto pueden tener pequeños movimientos propios, con tal que sigan siempre el movimiento general. Así, un torbellino de viento está constituido por una infinidad de pequeñas partes de aire, que giran en círculo todas juntas envolviendo todo cuanto encuentran. *Vos sabéis que los planetas son transportados por la materia celeste que es de una sutilidad (sic) y agitación prodigiosas. Toda esa gran masa de materia celeste, que hay desde el Sol hasta las estrellas fijas, gira en círculo y arrastra consigo a los planetas, haciéndolos girar a todos alrededor del Sol, que ocupa el centro, pero en tiempos más o menos largos según estén más o menos alejados. Sólo el Sol no gira más que sobre sí mismo, porque está justo en el centro de toda esta materia celeste.*¹⁰⁵

Tan tarde como 1752, en un tiempo en el que claramente la teoría newtoniana ya se había empezado a imponer, Fontenelle da a conocer la *Teoría de los torbellinos cartesianos con reflexiones acerca de la atracción*.

Así, la controversia entre cartesianos y newtonianos permaneció latente a lo largo de la primera mitad del siglo XVIII. Al respecto un comentario de Maupertuis (1698-1759) es ilustrativo: "Ha sido necesario medio siglo para aquietar a los académicos del continente respecto a la atracción. Ésta permanecía confinada en su isla, o si cruzaba el mar no parecía sino la reproducción de un monstruo que acababa de ser proscrito".¹⁰⁶ Afirmaciones similares valdrían a propósito de la aceptación por parte de los científicos del continente del vacío newtoniano.

¹⁰⁵ Fontenelle, *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, *op.cit.* p. 131 (Las cursivas son mías.)

¹⁰⁶ Citado por Antonio Beltrán Marí en su "Introducción" a las *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, *op.cit.* p. 42. El comentario de Maupertuis hace referencia de cómo el newtonianismo no se impuso de manera general en el Continente sino poco antes de la mitad del siglo XVIII.

3. LA FILOSOFÍA NATURAL DE NEWTON

En este tercer y último capítulo expondré los aspectos fundamentales de la filosofía natural de Newton y en particular, de su física. A menudo compararé estos aspectos con los aspectos análogos de la filosofía natural cartesiana. No obstante, la exposición y el análisis que siguen no siempre tienen partes análogas en mi exposición previa de las teorías cartesianas; aun así, toda la exposición que sigue de las ideas de Newton es relevante, creo, para una correcta apreciación de las teorías de Descartes.

A lo largo de su evolución intelectual Newton mantuvo ideas notablemente distintas, si bien desde el principio adoptó una postura crítica hacia el cartesianismo.¹⁰⁷ En este capítulo expondré las ideas de Newton sobre el movimiento, el espacio, la materia y las fuerzas en dos obras correspondientes a momentos distintos de su evolución intelectual. La primera de esas obras es un escrito inacabado de juventud, *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*. La segunda de esas obras es la fundamental de Newton, los *Principia Matemática*.

3.1 *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*

La crítica newtoniana a Descartes comienza, prácticamente, con el escrito *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* (*Sobre la gravedad y el equilibrio de los*

¹⁰⁷ M. Mamiani en su "Introducción a Newton", Alianza, Madrid, 1995, pp. 26-34 hace ver que ya desde los primeros tiempos de sus estudios en Cambridge, Newton empezó a adoptar una posición crítica respecto a la filosofía natural cartesiana. El escrito en el cual

fluidos). Se trata de un manuscrito inacabado, publicado sólo póstumamente en el siglo XX, y probablemente compuesto entre los años 1664 y 1668.¹⁰⁸ Estaba destinado a ser un tratado de hidrostática, pero en la forma conservada consta casi exclusivamente de una larga digresión que contiene un ataque contra la física de Descartes expuesta en los *Principios de la Filosofía*.

El *De Gravitatione* comienza con cuatro definiciones que Newton pretendía usar en su trabajo hidrostático:

Def. 1. Un lugar es una parte del espacio que algo llena por igual (*adaequate*).

Def.2. Un cuerpo es aquello que llena un lugar.

Def. 3.El reposo es la permanencia en un mismo lugar.

Def. 4. El movimiento es un cambio de lugar.¹⁰⁹

Como se observa a primera vista, Newton acepta la caracterización general cartesiana básica del movimiento como traslación (y del reposo como ausencia de traslación). Sin embargo, también a primera vista se observa que las definiciones dan a entender que un lugar es distinto del cuerpo ocupado por ese lugar y, por tanto, que el movimiento tal como se define en la Def. 4 no es el movimiento cartesiano, que se entendía como traslación con respecto a algunos cuerpos

se puede constatar lo anterior es conocido, actualmente, como el *Cuaderno de Trinity* y parece que fue redactado entre 1661 y 1665.

¹⁰⁸ Según la conjetura de A.R. y M.B. Hall, en su edición (la primera) del *De Gravitatione*, en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1961, p. 90. Acerca de la polémica de si este escrito fue redactado efectivamente hacia estas fechas, cfr. D. Gjertsen en *The Newtonian Handbook*, Routledge and Kegan Paul, Londres y Nueva York, 1986, pp. 154-155.

¹⁰⁹ *De Gravitatione*, en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1961, p. 122.

circundantes al móvil, no como traslación con respecto “al lugar”. Newton confirma esto explícitamente:

...cuando supongo en estas definiciones que el espacio es distinto del cuerpo y cuando determino que el movimiento se da con respecto a las partes de ese espacio y no con respecto a la posición de los cuerpos vecinos, para que no se crea que estas ideas van gratuitamente en contra de los cartesianos, me atreveré a eliminar sus ficciones.¹¹⁰

Así comienza la larga digresión, que abarca casi todo el manuscrito que ha llegado hasta nosotros, en la que Newton critica las ideas cartesianas sobre el movimiento, el espacio y la materia; poco antes de que el manuscrito concluya abruptamente, también ofrece algunas ideas, brevemente expresadas, sobre la noción de fuerza y sus tipos. Seguiré este mismo orden en mi exposición y análisis.

3.1.1 *Acerca del movimiento*

Newton resume las ideas de Descartes sobre el movimiento en tres tesis principales: (1) Cada cuerpo tiene un solo movimiento, que se da con respecto a los cuerpos vecinos, aun si es útil descomponerlo en varios movimientos imaginarios; por ejemplo, un punto de una rueda de un carro en movimiento describe una línea complicada en su avance por el camino, que es la línea de su movimiento con respecto a los bordes del camino; esto es así aun si es útil descomponer el movimiento de ese punto en un movimiento rotatorio (el de la

¹¹⁰ La traducción de los pasajes que presento del *De Gravitatione* es mía por lo que transcribo los textos de la edición inglesa de los Hall.

“...when I suppose in these definitions that space is distinct from body, and when I determine that motion is in respect to the parts of space, and not with respect to the

rueda al girar) y otro lineal (de la rueda a lo largo del camino).¹¹¹ (2) Un cuerpo es un conjunto de partes del espacio que se mueven al mismo tiempo. (3) Además del movimiento real y único mencionado en la tesis (1), cada cuerpo A tiene muchos otros movimientos que no son verdaderos en sentido "filosófico"¹¹² y que surgen de considerar la traslación de A con respecto a otros cuerpos C que no se consideran vecinos suyos, sino vecinos de otros cuerpos B con respecto a los cuales A sí se mueve verdaderamente; al moverse los B con respecto a los C, se puede decir que A se mueve con respecto a los C, pero no filosóficamente.¹¹³

Newton critica en primer lugar a Descartes por utilizar en sus razonamientos a veces su idea "filosófica" de movimiento y a veces la idea vulgar, "no filosófica". En particular, recuerda que Descartes dice que la Tierra no se mueve en sentido filosófico (pues está en reposo con respecto al éter circundante), pero en otros lugares dice que la Tierra tiene una tendencia a escapar de la órbita solar (tendencia vencida por la materia o éter del vórtice en el que gira). Newton se pregunta cómo esta tendencia vencida por el vórtice (que daría lugar a un movimiento si no fuera vencida por él) o la tendencia contraria del vórtice, pueden

position of neighbouring bodies, lest this should be taken as being gratuitously contrary to the Cartesians, I shall venture to dispose of his fictions". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 123.)

¹¹¹ Descartes decía: "*La traslación del cuerpo se produce desde la vecindad de aquellos cuerpos con los que está en contacto, hacia la vecindad de algunos otros y no desde un lugar hasta otro lugar, puesto que el lugar puede ser considerado en formas diversas que dependen de nuestro pensamiento (...)* La traslación no se produce desde la vecindad de cualquier clase de cuerpos, sino solamente desde la vecindad de aquellos cuerpos que consideramos como en reposo". (*Principios de la Filosofía*, 2:28-29, p. 90 en la edición de G. Quintás, Alianza, Madrid, 1995. Las cursivas son mías). "*Podemos considerar este movimiento único que es propiamente atribuido a cada cuerpo, tal y como si estuviera compuesto de varios movimientos*". (*Op.cit.* 2:32, p. 93.).(Las cursivas son mías.)

¹¹² Término de Newton en el *De Gravitatione* para nombrar el 'movimiento propiamente dicho de Descartes'.

¹¹³ Para las afirmaciones de este párrafo cfr. *De Gravitatione, op.cit.* p. 123.

ser reales, dado que la Tierra y el vórtice están en reposo uno respecto a otro.¹¹⁴ Incluso si Newton interpreta bien a Descartes, esta crítica no parece muy convincente, dado que Descartes sólo se contradiría si aceptara un movimiento de la Tierra o un movimiento del vórtice con respecto a la Tierra.¹¹⁵ Lo único que acepta es una "tendencia" de la Tierra y otra del vórtice; no está claro que la existencia de la "tendencia" sea incompatible con la existencia de movimiento como mera traslación con respecto al éter del vórtice.

La segunda crítica parece más aguda. Newton parece sugerir que la primera tesis es incoherente con las tesis cartesianas sobre la relatividad del movimiento. Por un lado, un cuerpo tiene un solo movimiento o reposo (por la tesis (1)); pero al mismo tiempo el que se esté moviendo depende de si los cuerpos circundantes se toman como en reposo, lo cual parece implicar que no hay un único movimiento después de todo. Considérese otra vez el caso de la Tierra y su vórtice:

Para que la contradicción sea evidente, imagine que alguien ve la materia del vórtice como en reposo, y que la Tierra, filosóficamente hablando, está en reposo al mismo tiempo; imagine también que otra persona ve simultáneamente la misma materia del vórtice como moviéndose en un círculo y que la Tierra, filosóficamente hablando, no está en reposo.¹¹⁶

¹¹⁴ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione*, op.cit. p. 124.

¹¹⁵ Cfr. *Los Principios de la Filosofía* de René Descartes, 3:26.

¹¹⁶ "But that the contradiction may be evident, imagine that someone sees the matter of the vortex as at rest, and that the Earth, philosophically speaking, is at rest at the same time; imagine also that someone else simultaneously sees the same matter of the vortex as moving in a circle, and that the Earth philosophically speaking, is not at rest". (*De Gravitatione*, op.cit. p. 125.)

Parece que el que la Tierra esté "filosóficamente" en reposo no es algo que esté fijado universalmente independientemente de que se considere o no en reposo al vórtice.

La tercera crítica de Newton parece consistir simplemente en afirmar que las tesis (1) y (3) son incoherentes entre sí, aunque sin justificar esto de otro modo que diciendo que los movimientos mencionados en la tesis (3) son plenamente verdaderos "en sentido filosófico".¹¹⁷

Newton insiste sobre esto más adelante, en una crítica que sólo parece diferir de la recién presentada en añadir la sugerencia de que la tesis (2) hace especialmente difícil imaginar cómo los cuerpos que integran un cuerpo mayor no puedan participar "en sentido filosófico" de los movimientos de este cuerpo mayor, imposibilidad afirmada por la tesis (3):

Supóngase un vórtice junto con todos los Planetas o un barco, con todo lo que lleva flotando en el mar o un hombre que camina en el barco, junto con las cosas que lleva consigo o la rueda de un reloj, junto con sus partículas metálicas constituyentes. Así, a menos que uno diga que el movimiento del agregado entero no se puede considerar como un movimiento propio que pertenece a las partes según la verdad de las cosas, habrá de admitirse que todos estos movimientos de las ruedas del reloj, del hombre, del barco y del vórtice están verdadera y filosóficamente hablando en las partículas de las ruedas.¹¹⁸

Newton dice que si esto se admite entonces se sigue que todos los movimientos de las ruedas del reloj son filosóficamente verdaderos, pero esto

¹¹⁷ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione, op.cit.* pp. 125-126.

¹¹⁸ "Suppose a vortex together with all the Planets, or a ship along with everything within it floating in the sea, or a man walking in a ship together with the things he carries with him, or the wheel of a clock together with its constituent metallic particles. For unless you say that the motion of the whole aggregate cannot be considered as proper motion and as belonging to the parts according to the truth of things, it will have to be admitted that all these motions of the wheels, of the clock, of the man, of the ship and of the vortex are truly and philosophically speaking in the particles of the wheels". (*De Gravitatione, op.cit.* pp. 126-127.)

parece absurdo. Quizá no fuera absurdo si concediéramos que en realidad sólo uno de esos movimientos es real. Pero si todos son reales, que es lo que Newton cree haber mostrado, entonces hemos llegado a un absurdo y hemos de rechazar alguno de los supuestos cartesianos que llevaron al absurdo; en concreto, hemos de rechazar la tesis (3). Para Newton es claro que sí hay, efectivamente, un solo movimiento real de cada cuerpo (como dice la tesis (1)); pero es absurdo suponer que ese movimiento se da con respecto a los cuerpos vecinos, porque esta idea implica muy plausiblemente la tesis contraria a (1), es decir, que cada movimiento tiene innumerables movimientos, todos igual de reales.¹¹⁹

Newton también critica a Descartes sosteniendo que de la teoría de éste se sigue que un cuerpo podría pasar del reposo al movimiento sin que se le aplicase ninguna fuerza para lograrlo (en contra, por ejemplo, de la primera ley cartesiana de la naturaleza). Newton dice:

...si Dios de pronto detuviera el giro de nuestro vórtice, sin aplicar ninguna fuerza a la Tierra que la detuviera al mismo tiempo, Descartes diría que la Tierra se mueve en un sentido filosófico (dada su traslación con respecto a la vecindad del fluido contiguo), mientras que antes decía que estaba en reposo, en el mismo sentido filosófico.¹²⁰

La crítica no parece convincente. Ciertamente, dadas las leyes cartesianas de la naturaleza, la Tierra no puede pasar a moverse si ninguna fuerza actúa sobre ella. Pero, ¿hay que concederle a Newton que la Tierra se movería si Dios detuviera el vórtice que la arrastra? Seguramente Descartes respondería que no. Dios detiene

¹¹⁹ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione*, *op.cit.* p. 127.

¹²⁰ "...if God should suddenly cause the spinning of our vortex to stop, without applying any force to the Earth which could stop it at the same time, Descartes would say that the Earth is moving in a philosophical sense (on account of its translation from the

el vórtice, aplicándole una fuerza. Esta misma fuerza, transmitida por el éter del vórtice, podría evitar que la Tierra se moviera con respecto a la materia detenida del vórtice. Como mínimo, no está claro que esta no sea una opción para Descartes.

Veamos una nueva crítica. Según Newton, si Dios aplicara una fuerza enorme a la bóveda celeste que hiciera que girara en torno a la Tierra, Descartes diría que la Tierra se movería filosóficamente (con respecto a la bóveda celeste; Newton supone, pues, que Descartes aceptaría tomar la bóveda celeste como un "cuerpo circundante" a la Tierra). Desde la Tierra, ciertamente, el movimiento observado sería el mismo en este caso que si Dios dejara quieta la bóveda celeste y aplicara una fuerza a la Tierra que la hiciera rotar en la dirección opuesta a la anterior. Según Newton, en este último caso lo natural es decir que la Tierra se mueve y en el primer caso lo natural es decir que la bóveda celeste es la que se mueve, pero atribuye a la teoría de Descartes la consecuencia de que en ambos casos es la Tierra la que se mueve "filosóficamente".¹²¹

La siguiente crítica consiste meramente en señalar que

...parece repugnante a la razón que los cuerpos cambien sus distancias y posiciones relativas sin movimiento físico; pero Descartes dice que la Tierra, y los otros Planetas y las estrellas fijas se hallan propiamente hablando en reposo y sin embargo, cambian sus posiciones relativas.¹²²

neighbourhood of the contiguous fluid), whereas before he said it was resting, in the same philosophical sense". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 127.)

¹²¹ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione, op.cit.* pp. 127-128.

¹²² "...it seems repugnant to reason that bodies should change their relative distances and positions without physical motion; but Descartes says that the Earth and the other Planets and the fixed stars are properly speaking at rest, and nevertheless they change their relative positions". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 128.)

Desde luego no se trata de una crítica muy convincente. Quizá sea “repugnante” a alguna intuición nuestra decir que hay cuerpos que cambian sus posiciones relativas entre sí y que, sin embargo, están todos en reposo. Pero sostener que la razón no pueda llegar a esa conclusión contraintuitiva parece apresurado.¹²³

Una nueva crítica de Newton busca arrojar dudas sobre la posibilidad misma del movimiento en el sentido cartesiano. Según Descartes, el movimiento es con respecto a cuerpos que se toman como en reposo. Pero en realidad, según Newton, no hay razón para pensar que ningún cuerpo esté en reposo:

Pregunto por qué razón se dice de un cuerpo que se mueve en sentido propio cuando otros cuerpos de cuya vecindad se retira no se ven en reposo o, más bien, cuando no puede verse que estén en reposo. Por ejemplo, cómo puede decirse de nuestro vórtice que se mueve circularmente en virtud de la traslación de materia cerca de la circunferencia, desde la vecindad de materia similar en otros vórtices circundantes, dado que la materia de los vórtices circundantes no puede verse que esté en reposo, y esto no sólo con respecto a nuestro vórtice, sino también en cuanto que esos vórtices no están en reposo los unos con respecto a los otros.¹²⁴

Newton parece concluir que la única manera que Descartes tendría de evitar el absurdo sería suponer que el movimiento de los vórtices se da con respecto al espacio, como algo distinto e independiente de la materia de cualquier vórtice:

Pues si el Filósofo [Descartes] remite esta traslación [relativa] no a las partículas corpóreas numéricas del vórtice, sino al espacio genérico (como él lo

¹²³ Es importante tener en cuenta que, sólo si uno usa la forma intuitiva de movimiento es que se puede dar una contradicción pero lo anterior se refiere a la noción de ‘movimiento verdadero’ definida por Descartes.

¹²⁴ “I ask for what reason any body is properly said to move when other bodies from whose neighbourhood it is transported are not seen at rest, or rather when they cannot be seen to be at rest. For example, in what way can our own vortex be said to move circularly on account of the translation of matter near the circumference, from the neighbourhood of similar matter in other surrounding vortices since the matter of surrounding vortices cannot be seen to be at rest, and this not only with respect to our vortex, but also in so far as those vortices are not at rest among themselves”. (*De Gravitatione, op.cit.* pp. 128-129.)

llama)¹²⁵ en que existen esos vórtices, por fin estamos de acuerdo, pues entonces reconoce que ese movimiento debe referirse al espacio en cuanto que distinto de los cuerpos.¹²⁶

Este espacio "genérico" del que habla Newton es un precedente del espacio que luego llamará más resueltamente 'absoluto'.

De nuevo la crítica no parece plenamente convincente. Descartes no parece necesitar que los cuerpos vecinos a un cuerpo, desde cuya vecindad se da el movimiento "filosófico" de éste, "se vean en reposo". Quizás sea difícil para nosotros verlos en reposo o hacernos a la idea de que están en reposo. Lo único que Descartes parece requerir es que los cuerpos vecinos se *tomen* (por estipulación o convención) como estando en reposo. El que tengamos una dificultad para adoptar una convención particular (quizá debido a nuestra educación o a la idea "vulgar" de movimiento) no quiere decir que no seamos capaces de convenir que cierto cuerpo o cuerpos se hallan en reposo. Una vez adoptada esa estipulación, se podrá juzgar si los cuerpos contiguos están o no en movimiento.

La última crítica de Newton consiste en atribuir a la teoría de Descartes la consecuencia de que

...un cuerpo en movimiento no tiene una velocidad determinada ni una línea definida en la que se mueva. Y, lo que es peor, que la velocidad de un cuerpo que

¹²⁵ Descartes había hablado (en los *Principios de la Filosofía* 2:10) de que la extensión tiene para la mente una unidad genérica, pues uno cree poder abstraerla de los cuerpos específicos e imagina que los movimientos de éstos se dan con respecto a esa unidad genérica. Naturalmente, para Descartes esta es una distinción de razón que no se da en las cosas.

¹²⁶ "For if the Philosopher refers this translation not to the numerical corporeal particles of the vortex, but to the generic space (as he calls it), in which those vortices exist, at last we do agree, for he admits that motion had to be referred to space in so far as it is distinguished from bodies". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 129.)

se mueve sin resistencia no puede decirse que sea uniforme, ni la línea que recorre recta. Por el contrario, no puede haber movimiento puesto que no puede haber movimiento sin una cierta velocidad y determinación.¹²⁷

¿Cómo se sigue esto de la teoría cartesiana según Newton? La clave del argumento newtoniano consiste en atribuir a Descartes la tesis de que cuando un movimiento ha acabado, los cuerpos con respecto a los cuales se dio el movimiento ya se han movido. (Esta atribución a Descartes es dudosa, como veremos.) Newton da un ejemplo:

...después de completarse un cierto movimiento, la posición de los cuerpos circundantes ya no es la misma que antes. Por ejemplo, si se busca el lugar del planeta Júpiter hace un año, ¿por medio de qué razón, pregunto yo, puede definirlo el filósofo cartesiano? No por las posiciones de las partículas de la materia fluida, pues las posiciones de estas partículas han cambiado grandemente desde hace un año. Ni podría definirla por las posiciones del Sol y de las estrellas fijas. Pues el flujo desigual de materia sutil a través de los polos de los vórtices hacia las estrellas centrales, la ondulación, inflación y absorción de los vórtices, y otras causas más verdaderas tales como la rotación del Sol y las estrellas en torno a sus centros, la generación de manchas y el paso de los cometas a través de los cielos, cambian tanto la magnitud como las posiciones de las estrellas de tan gran manera que quizás sólo son adecuadas para designar el lugar buscado con un error de varias millas.¹²⁸

¹²⁷ "...a moving body has no determinate velocity and no definite line in which it moves. And, what is worse, that the velocity of a moving body without resistance cannot be said to be uniform, nor the line said to be straight in which its motion is accomplished. On the contrary, there cannot be motion since there can be no motion without a certain velocity and determination". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 129.)

¹²⁸ "...after the completion of a certain motion the position of the surrounding bodies no longer stays as it was before. For example, if the place of the planet Jupiter a year ago be sought, by what reason, I ask, can the Cartesian philosopher define it? Not by the position of the particles of the fluid matter, for the positions of these particles have greatly changed since a year ago. Nor can he define it by the positions of the Sun and fixed stars. For the unequal influx of subtle matter through the poles of the vortices towards the central stars, the undulation, inflation and absorption of the vortices, and other more true causes, such as the rotation of the Sun and stars around their centers, the generation of spots, and the passage of comets through the heavens, change both the magnitude and positions of the stars so much that perhaps they are only adequate to designate the place sought with an error of several miles". (*De Gravitatione, op.cit. pp.* 129-130.)

Ahora bien, puesto que el "lugar" donde empezó el movimiento ha desaparecido, no tiene sentido según Newton hablar de que el cuerpo que supuestamente se ha movido haya recorrido un espacio determinado. Y sin espacio recorrido no hay espacio recorrido en el tiempo transcurrido, luego no hay velocidad. Pero sin espacio recorrido ni velocidad no puede haber habido movimiento:

Como es imposible determinar el lugar en que empezó un movimiento (esto es, el comienzo del espacio recorrido [por un cuerpo]), ya que este lugar no existe más después de completarse el movimiento, así, el espacio recorrido [por el cuerpo], al no tener un comienzo, no puede tener longitud; y así, puesto que la velocidad depende de la distancia cubierta [por el cuerpo] en un tiempo dado, se sigue que el móvil no puede tener velocidad, tal como lo quería demostrar, en primer lugar. Además, lo que se dijo sobre el comienzo del espacio recorrido debería aplicarse también a todos los puntos intermedios; y así, como el espacio no tiene comienzo ni partes intermedias se sigue que no hay espacio [que el cuerpo haya] recorrido y, por tanto, tampoco movimiento determinado, lo que era mi segunda tesis.¹²⁹

Pero una vez más no es clara la fuerza de este razonamiento. Todo él depende de si Descartes aceptaría, o de en qué sentido aceptaría, que los cuerpos con respecto a los cuales se dio el movimiento ya se han movido. Descartes dice sin duda que no hay cuerpo del que no se pueda decir en algún sentido que está en movimiento. Pero no acepta que todo movimiento sea real pues, como hemos visto, el movimiento real sólo se da con relación a los cuerpos circundantes. En particular, los movimientos mencionados por Newton en su ejemplo, empezando por el movimiento de las partículas de éter, no es movimiento real para Descartes.

¹²⁹ "Now as it is impossible to pick out the place in which a motion began (that is, the beginning of the space passed over), for this place no longer exists after the motion is completed, so the space passed over, having no beginning, can have no length; and hence, since velocity depends upon the distance passed over in a given time, it follows that the moving body can have no velocity just as I wished to prove at first. Moreover, what was said of the beginning of the space passed over should be applied to all intermediate points too; and thus as the space has no beginning nor intermediate parts it follows that

Ahora bien, si estos movimientos no son reales, entonces nada se opone a considerar los supuestos móviles como en reposo.

Más aún, la cuestión clave es si, incluso si esos cuerpos están en algún sentido en movimiento, las nociones de espacio recorrido y de velocidad pierden su sentido meramente por eso. ¿Acaso no basta, nuevamente, que se pueda *estipular* o *convenir* que esos cuerpos están en reposo para calcular el espacio recorrido, la velocidad, y por tanto el movimiento *tomados con respecto al marco de referencia proporcionado por esa convención?*¹³⁰

3.1.2 Acerca del espacio

Newton resume las principales ideas cartesianas sobre el espacio y anuncia a continuación su intención de refutarlas para establecer fundamentos "más verdaderos" para la noción de movimiento y para las "ciencias mecánicas":

...como Descartes parece haber demostrado que el cuerpo no difiere en nada de la extensión, abstrayendo la dureza, el color, el peso, el frío, el calor y las restantes cualidades de las que un cuerpo puede carecer, de manera que al final sólo queda su extensión en longitud, anchura y profundidad, las cuales son las únicas cosas que pertenecen a su esencia y como muchos han aceptado esto como una demostración y ésta es, según creo, la única razón para confiar en esta idea; para que no quede ninguna duda sobre la naturaleza del movimiento, responderé a este argumento explicando lo que son la extensión y el cuerpo, y cómo difieren entre sí (...) Considero de la máxima importancia derrocar [esa filosofía] en lo que se refiere a la extensión, para asentar fundamentos más verdaderos de las ciencias mecánicas.¹³¹

there was no space passed over and thus no determinate motion, which was my second point". (*De Gravitatione, op.cit.* pp. 130-131.)

¹³⁰ Cfr. *Los Principios de la Filosofía* de René Descartes, 2:27-28.

¹³¹ "...as Descartes seems to have demonstrated that body does not differ at all from extension, abstracting hardness, colour, weight, cold, heat and the remaining qualities which body can lack, so that at last there remains only its extension in length, width and depth, which hence alone appertain to its essence; and as this has been taken as proved by many, and is in my view the only reason for having confidence in this opinion; lest any doubt should remain about the nature of motion, I shall reply to this argument by

Según Newton, el espacio no es una sustancia, como lo es para Descartes. Pero tampoco es un accidente de una sustancia. No es sustancia por dos razones: primero, no existe "absolutamente" (*absolute*), esto es, independientemente de todo lo demás, ya que ha de ser "como un efecto emanativo de Dios";¹³² segundo, no es algo susceptible de tener movimientos ni pensamientos, como los cuerpos o las mentes.¹³³ Por otro lado, el espacio no es tampoco accidente de una sustancia. La razón que ofrece Newton es significativamente anticartesiana:

...puesto que podemos concebir la extensión claramente como existiendo sin ningún sujeto [es decir, sin ningún sujeto de inherencia -en terminología actual-], y puesto que podemos imaginar espacios fuera del mundo o lugares vacíos de cuerpos, y creemos que la extensión existe dondequiera que imaginemos que no hay cuerpos y no podemos creer que perecería con el cuerpo si Dios aniquilara uno, se sigue que la extensión no existe como un accidente inherente en algún sujeto.¹³⁴

explaining what extension and body are, and how they differ from each other (...) I consider it most important to overthrow [that philosophy] as regards extension, in order to lay truer foundations of the mechanical sciences". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 131.)

¹³² La idea newtoniana de que el espacio es un 'efecto emanativo' de Dios se debe a la influencia de Henry More. En todo caso, Newton no sólo tuvo influencia en su concepción del espacio de More sino, asimismo, de algunos otros autores, entre los que figura su maestro del matemáticas Isaac Barrow. Para una exposición pormenorizada de este tema, véase el artículo (inédito) de José A. Robles (IIF-UNAM) "Newton y los espacios infinito de H. More y adimensional de I. Barrow". Acerca de la influencia que Newton tuvo de autores no mencionados en este trabajo, véase E. Grant en *Much ado about nothing. Theories of space and vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981, pp. 199-221. Asimismo, se pueden consultar otros dos textos: "Espacio, materia y tiempo en cuatro filósofos atomistas. Epicuro (341-270), Tito Lucrecio Caro (98-55), Francesco Patrizi (1529-1597) y Walter Charleton (1620-1707)" de José A. Robles, en Laura Benítez y José Antonio Robles (coords.) *Materia espacio y tiempo: de la filosofía natural a la física*, UNAM, México, 1999, pp. 146-182 y *El espacio y el infinito en la modernidad*, de L. Benítez y J. A. Robles, Publicaciones Cruz, México, 2000, caps. 2, 4 y 7.

¹³³ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione, op.cit.* p. 132.

¹³⁴ "Since we can clearly conceive extension as existing without any subject, and since we may imagine spaces outside the world or places empty of body, and we believe extension to exist wherever we imagine there are no bodies, and we cannot believe that it would perish with the body if God should annihilate a body, it follows that extension does not exist as an accident inherent in some subject". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 132.)

Nótese que Newton usa tesis anticartesianas en este argumento para negar que el espacio sea sustancia o accidente, y que lo ha hecho sin argumentar en defensa de esas tesis.

Newton continúa diciendo que el que el espacio no sea ni sustancia ni accidente no quiere decir que no sea nada. (De hecho añade la vaga afirmación de que "se aproxima más cercanamente a la naturaleza de la sustancia".¹³⁵) Podemos concebir distintamente, según él, varias propiedades del espacio, mientras que la nada no tiene propiedades.¹³⁶ A continuación Newton enumera varias propiedades del espacio. Es al describir estas propiedades que se manifiestan muy especialmente las diferencias de Newton con respecto a Descartes.

La primera propiedad que enuncia Newton es que el espacio es una estructura de planos superpuestos (superficies), compuestos de líneas, compuestas a su vez de puntos. Los planos no tienen altura, ni las líneas espesor, ni los puntos dimensiones. Y además de planos, líneas y puntos el espacio contiene en todas partes volúmenes de todas las formas geométricas, aunque estos volúmenes no se presentan a la vista salvo cuando los ocupan cuerpos materiales de esas formas:

...el espacio era esférico antes de que lo ocupara la esfera, de manera que pudiese contener la esfera; y por tanto, como hay espacios por todas partes que pueden contener adecuadamente cualquier esfera material, está claro que el espacio es esférico por todas partes.¹³⁷

¹³⁵ "And approaches more nearly to the nature of substance". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 132.)

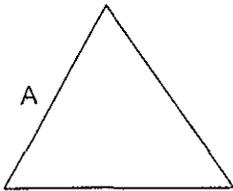
¹³⁶ Cfr. *De Gravitatione, op.cit.* p. 132.

¹³⁷ "The space was spherical before the sphere occupied it, so that it could contain the sphere, and hence as there are everywhere spaces that can adequately contain any

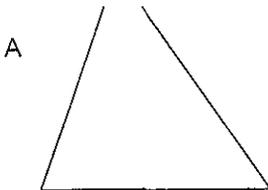
La segunda propiedad enunciada por Newton es radicalmente anticartesiana: el espacio se extiende infinitamente en todas direcciones. La razón fundamental es que

...no podemos imaginar ningún límite en ningún lugar sin imaginar al mismo tiempo que hay espacio más allá de él.¹³⁸

Otra razón la proporciona un argumento geométrico. Imaginemos un triángulo

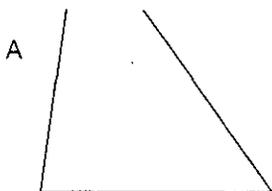


y luego imaginemos que el lado A se va moviendo hacia la izquierda sin despegarse del vértice común a la base:



material sphere, it is clear that space is everywhere spherical". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 133.)

¹³⁸ "We cannot imagine any limit anywhere without at the same time imaging that there is space beyond it". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 133.)



y así sucesivamente. Según Newton, A y el lado opuesto siempre se encontrarán a una distancia finita, mientras A no se ponga en paralelo al lado opuesto. También según Newton, los puntos de encuentro del lado que no se ha movido con A a medida que A se mueve se disponen obviamente en una línea recta que prolonga el lado inmóvil. Pero intuitivamente esta línea de puntos de encuentro no tiene fin. Es infinita. Y por tanto la extensión, de la que esta línea es parte, es infinita también.

Esta tesis contradice la afirmación de Descartes en los *Principios de la Filosofía*¹³⁹ según la cual el calificativo "infinito" sólo corresponde a Dios, mientras que cualquier otra cosa de la que se pueda pensar en algún sentido que se extiende hasta el infinito ha de llamarse más bien "indefinida". Según Descartes, sólo Dios es propiamente hablando infinito, mientras que de las cosas en las que no percibimos límites, como las líneas rectas prolongadas al "infinito", no cabe pensar que sean infinitas realmente, sino únicamente que nosotros, los seres humanos, no somos capaces de concebir esos límites.¹⁴⁰

Newton rechaza estas justificaciones cartesianas. Veamos dos de sus argumentos. Primer argumento:

¹³⁹ Cfr. 1:26-27, en pp. 37-38 de la ed. de G. Quintás ya citada.

¹⁴⁰ Cfr. *Principios de la Filosofía*, 1:27, *ibid*.

Si alguien objeta [a la idea de que hay líneas infinitas] que no podemos imaginar que haya una extensión infinita, yo estoy de acuerdo. Pero al mismo tiempo respondo que podemos entender que la haya. Podemos imaginar una extensión más grande, y luego otra mayor, pero entendemos que existe una extensión mayor que cualquiera que podamos imaginar. Y aquí, incidentalmente, la facultad del entendimiento se distingue claramente de la imaginación.¹⁴¹

Segundo argumento:

Si Descartes dice ahora que la extensión no es infinita sino indefinida, los gramáticos deberían corregirlo. Pues la palabra 'indefinido' no se aplica nunca a aquello que es en acto, sino que siempre se relaciona con una posibilidad futura, refiriéndose a algo que no está todavía determinado y definido (...) Así una línea indefinida es una cuya longitud futura está todavía indeterminada. Y también un espacio indefinido es uno cuya magnitud futura no está todavía determinada; pues ciertamente aquello que es en acto no se ha de definir, sino que o bien tiene límites o no y es, por tanto, o finito o infinito.¹⁴²

Obviamente, Newton considera el espacio como existiendo en acto, y por tanto como finito o infinito (y de hecho infinito); decir que es indefinido si es en acto es absurdo.

La tercera propiedad newtoniana del espacio es que "las partes del espacio están inmóviles".¹⁴³ El principal argumento newtoniano en este caso parece ser el siguiente:

¹⁴¹ "If anyone now objects that we cannot imagine that there is infinite extension, I agree. But at the same time I contend that we can understand it. We can imagine a greater extension, and then a greater one, but we understand that there exists a greater extension than any we can imagine. And here incidentally, the faculty of understanding is clearly distinguished from imagination. (*De Gravitatione, op.cit.* p. 134.)

¹⁴² "If Descartes now says that extension is not infinite but rather indefinite, he should be corrected by grammarians. For the word 'indefinite' is never applied to that which actually is, but always relates to a future possibility signifying only something which is not yet determined and definite (...) Thus an indefinite line is one whose future length is still undetermined and so an indefinite space is one which future magnitude is not yet determined; for indeed that which actually is, is not to be defined, but does either have limits or not and so is either finite or infinite". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 135.)

¹⁴³ "The parts of space are motionless". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 136.)

...las partes del espacio derivan su carácter de sus posiciones, de tal manera que si dos cualesquiera pudieran cambiar sus posiciones, cambiarían al mismo tiempo su carácter y cada una se convertiría numéricamente en la otra.¹⁴⁴

Es decir, si dos partes de espacio intercambiaran sus posiciones, lo cual sería una condición mínima para que se pudiera hablar de movimiento de una de ellas (de hecho de las dos), entonces la primera se convertiría en la segunda y viceversa, debido a que el carácter individual de cada parte del espacio se deriva exclusivamente de su posición con respecto a otras. No es claro cómo entender este razonamiento. Si concedemos que las partes pueden intercambiar posiciones entonces es difícil ver por qué se han de “convertir” una en la otra. Esta idea de la “conversión” es misteriosa. Quizás lo que Newton quiere decir es simplemente que, si se supone que el carácter individual de cada parte del espacio se deriva exclusivamente de su posición con respecto a otras, entonces no tiene sentido hablar de que una parte pueda moverse con respecto a otras.

La cuarta propiedad del espacio es que es una “afección” (*affectio*; los Hall traducen esto por “disposición”) de un ente en cuanto que ente. Según Newton, todo ente está relacionado con el espacio de una u otra forma, incluidas las mentes, que están “en algún lugar” y Dios, que está “en todas partes”. También según Newton, “se sigue que el espacio es un efecto [emanativo] que surge de un ente existente anteriormente, porque cuando se postula un ente, se postula el espacio”.¹⁴⁵ Es una afirmación relacionada con la que ya vimos según la cual el espacio es “como un efecto emanativo” de Dios; nótese que ahora se dice algo

¹⁴⁴ “...the parts of space derive their character from their positions, so that if any two could change their positions, they would change their character at the same time and each would be converted numerically into the other”. (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 136.)

parecido, sin mencionar a Dios, aunque parece claro que Dios es el ente al que Newton se refiere.¹⁴⁶

Al comentar esta propiedad del espacio, Newton habla también del tiempo, al que llama "duración". La conexión con el espacio en este caso es que la duración es también una "afección" de un ente en cuanto que ente. Además de estas afirmaciones es significativa la descripción de la duración de una manera que recuerda a la descripción posterior por Newton del tiempo absoluto:

...no adscribimos duraciones diferentes a las diferentes partes del espacio, sino que decimos que todas duran juntas. El momento de duración es el mismo en Roma que en Londres, en la Tierra que en las estrellas, y por todos los cielos.¹⁴⁷

La quinta tesis de Newton sobre el espacio habla por sí misma. Está estrechamente relacionada con su simpatía por la noción de espacio "genérico" que vimos al hablar de sus ideas sobre el movimiento. El espacio, y no otros cuerpos, es el marco de referencia con respecto al cual se produce el movimiento de un cuerpo:

Las posiciones, distancias y movimientos locales de los cuerpos han de darse en relación a las partes del espacio. Y esto se ve por las propiedades [primera a cuarta] del espacio, mencionadas más arriba, y se hará más manifiesto si se concibe que hay vacíos esparcidos entre las partículas, o si se atiende a lo que he dicho antes acerca del movimiento.¹⁴⁸

¹⁴⁵ "It follows that space is an effect arising from the prior existence of *being*, because when any being is postulated, space is postulated". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 136.)

¹⁴⁶ Nótese, asimismo, que aquí en esta parte de la traducción inglesa de los Hall no aparece la palabra 'emanativo'; sin embargo, si se confronta la versión latina de este texto, en ella sí aparece dicho término *emanativus*. Véase *De Gravitatione, op.cit.* p. 103.

¹⁴⁷ "...we do not ascribe various durations to the different parts of space, but say that all endure together. The moment of duration is the same at Rome and at London, on the Earth and on the stars, and throughout all the heavens". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 137.)

¹⁴⁸ "The positions, distances and local motions of bodies are referred to the parts of space. And this appears from the properties of space enumerated as 1. and 4. above, and will be more manifest if you conceive that there are vacuities scattered between the particles, or if

La última tesis de Newton sobre el espacio es que

...el espacio es eterno en duración e inmutable en naturaleza y esto es así porque es el efecto emanativo de un ente eterno e inmutable.¹⁴⁹

Así, la tesis del espacio como efecto emanativo de Dios se usa en la justificación de que el espacio ha durado y durará por siempre, y de que no admite cambios. Según explica Newton a continuación, mientras que uno puede imaginar el espacio sin cuerpos o almas, uno no puede imaginar que no haya espacio, y por tanto, tampoco que haya Dios sin espacio, pues, como ya dijo antes, Dios ha de existir en algún lugar (de hecho existe en todo lugar, es ubicuo). Esto implica que el espacio no puede haber sido creado por Dios, pues si así hubiera sido habría habido un tiempo en que Dios no habría estado en ninguna parte; el espacio debe haber existido desde siempre, como Dios.

3.1.3 *Acerca de la materia*

Acto seguido Newton pasa a hablar de la naturaleza de los cuerpos. Según él, las conclusiones a las que podamos llegar sobre esta cuestión habrán de ser más inciertas que las conclusiones a las que ya ha llegado sobre la naturaleza del espacio. La razón es, explica Newton, que los cuerpos no existen necesariamente, sino por la voluntad de Dios, y esta voluntad, infinitamente poderosa, tiene a su disposición varias maneras diferentes de crear entes que para nosotros fueran

you pay heed to what I have formerly said about motion". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 137.)

¹⁴⁹ "...space is eternal in duration and immutable in nature, and this because it is the emanent effect of an eternal and immutable being". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p.137.)

fenoméricamente indistinguibles de los cuerpos; por ello, no podemos saber con certeza cuál de esas maneras escogió:

...aunque parece difícilmente creíble que Dios pudiera crear entes similares a los cuerpos que muestren todas sus acciones y exhiban todos sus fenómenos y que no sean cuerpos en su constitución esencial y metafísica; como no tengo una percepción clara y distinta de este asunto no osaré afirmar lo contrario, y por eso estoy reacio a decir positivamente cuál sea la naturaleza de los cuerpos, por lo que más bien describiré un cierto tipo de entes, similares en todo a los cuerpos, y cuya creación no podemos negar que esté en el poder de Dios.¹⁵⁰

Así pues, Newton se entrega a la tarea de proporcionar esa descripción de "un cierto tipo de entes, similares en todo a los cuerpos" y cuyos efectos fenoméricos son enteramente indistinguibles de los de los cuerpos (sea cual sea la naturaleza de éstos).

Según Newton, cabe imaginar que Dios, por el poder de su voluntad, hace que ciertas partes del espacio sean impenetrables a otras partes, y que esas mismas partes reflejen la luz y el sonido. Además, podemos imaginar que Dios permite que estas partes no siempre permanezcan quietas sino que se trasladen de unas partes del espacio a otras. Si Dios hace esto efectivamente, entonces, una parte del espacio con esas propiedades tendrá todas las propiedades de lo que entendemos por un cuerpo:

Tendría forma, sería tangible y móvil, y sería capaz de reflejar y ser reflejado, y no constituiría en menor medida una parte de la estructura de las cosas que cualquier corpúsculo, e igualmente no veo porqué no podría actuar sobre nuestras mentes y a su vez ser modificado por nuestras acciones, porque no

¹⁵⁰ "...although it scarcely seems credible that God could create beings similar to bodies which display all their actions and exhibit all their phenomena and yet are not in essential and metaphysical constitution bodies; as I have no clear and distinct perception of this matter I should not dare to affirm the contrary, and hence I am reluctant to say positively what the nature of bodies is, but I rather describe a certain kind of being similar in every way to bodies, and whose creation we cannot deny to be within the power of God". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 138.)

es más que el producto de la mente divina realizado en una cantidad definida de espacio. Pues es cierto que Dios puede estimular nuestra percepción por su propia voluntad y, por tanto, aplicar ese poder a los efectos de su voluntad.¹⁵¹

Debe notarse que Newton parece suponer que los cuerpos reales (o lo que parecen ser los cuerpos reales) pueden "estimular nuestra percepción" por sí solos sin el concurso de Dios, pero los entes indistinguibles de los cuerpos que él nos pide que imaginemos quizás requieren del concurso divino para poder causar esa estimulación. Newton puede concluir que

...si todo este mundo estuviera constituido por este tipo de entes, difícilmente se mostraría en él alguna diferencia [con respecto al mundo que habitualmente se ve].¹⁵²

Tanto si los entes con las propiedades enunciadas por Newton son los cuerpos reales como si no, uno puede caracterizar a los cuerpos reales como los entes que poseen las propiedades enunciadas por Newton. Newton las resume así:

...podemos definir los cuerpos como cantidades determinadas de extensión que Dios omnipresente dota de ciertas condiciones. Estas condiciones son, (1) que son móviles; y por tanto no dije que sean partes numéricas del espacio que son absolutamente inmóviles, sino únicamente cantidades definidas que pueden ser transferidas de espacio a espacio; (2) que dos cantidades de ese tipo no pueden coincidir en ningún lugar; esto es, que pueden ser impenetrables y, por tanto que cuando sus movimientos causan que se encuentren se detienen y son rebotados de acuerdo con ciertas leyes; (3) que pueden excitar varias

¹⁵¹ "It would have shape, be tangible and mobile, and be capable of reflecting and being reflected and would no less constitute a part of the structure of things than any corpuscle, and I do not see that it would not equally operate upon our minds and in turn be operated upon, because it is nothing more than the product of the divine mind realized in a definite quantity of space. For it is certain that God can stimulate our perception by his own will, and thence apply such power to the effects of his will". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 139.)

¹⁵² "If all this world be constituted of this kind of being, it would seem hardly any different". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 139.)

percepciones de los sentidos y de la imaginación [*phantasia*] en las mentes creadas, e inversamente, ser movidas por ellas.¹⁵³

A estas tesis generales, Newton añade una serie de seis comentarios. El primero es que si existen entes con las propiedades mencionadas, "no es necesario suponer alguna sustancia ininteligible como sujeto en la cual inhiera una forma sustancial".¹⁵⁴ El segundo comentario es que estos entes, en caso de que existan meramente tal como han sido descritos, no serían menos reales que los cuerpos. La razón se hace completamente explícita en el siguiente pasaje:

Pues cualquier realidad atribuida a los cuerpos surge de sus fenómenos y cualidades sensibles. Y así juzgaríamos que estos entes, dado que admiten todas las cualidades de esta clase y del mismo modo pueden exhibir todos estos fenómenos, serían no menos reales [que los cuerpos], si existieran.¹⁵⁵

El tercer comentario es que entre el espacio y los entes del tipo imaginado por Newton existe una relación que es análoga a la relación entre la "materia prima" aristotélica y las formas sustanciales. El cuarto comentario es que esta analogía no es perfecta; a decir de Newton, el espacio tiene "más realidad" que la "materia

¹⁵³ "We can define bodies as determined quantities of extension which omnipresent God endows with certain conditions. These conditions are, (1) that they be mobile; and therefore I did not say that they are numerical parts of space which are absolutely immobile, but only definite quantities which may be transferred from space to space; (2) that two of this kind cannot coincide anywhere; that is, that they may be impenetrable, and hence when their motions cause them to meet they stop and are reflected in accord with certain laws; (3) that they can excite various perceptions of the senses and the fancy in created minds, and conversely be moved by them". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 140.)

¹⁵⁴ "For the existence of these bodies it is not necessary that we suppose some unintelligible substance to exist in which as subject there may be an inherent substantial form". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 140)

¹⁵⁵ "For whatever reality we attribute to bodies arises from their phenomena and sensible qualities. And hence we would judge these beings, since they can receive all qualities of this kind and can similarly exhibit all this phenomena, to be no less real, if they should exist". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 140)

prima”, pero no parece quedar bien explicado por qué o en qué sentido esto es así.

El quinto comentario es básicamente teológico. Ofrece fundamentalmente una justificación de la idea de que Dios pueda haber creado entes con las propiedades fenoménicas enunciadas antes. La parte principal de esa justificación procede a partir de la observación de que la sagrada escritura dice que Dios creó al hombre a imagen y semejanza suyas; y nosotros ciertamente sabemos que podemos, por efecto de nuestra voluntad, operar determinados efectos sobre la extensión, a saber, movimientos de varias partes de nuestros cuerpos y efectos de esos movimientos; pero entonces es razonable pensar que Dios, que sabemos que es semejante a nosotros, opere regularmente efectos similares sobre lo que para él es lo análogo a nuestros cuerpos, o sea la extensión.¹⁵⁶

Así como el quinto comentario es básicamente teológico, el sexto y último, que es el más largo de todos, es metafísico-teológico. La idea central que guía las observaciones de Newton en este comentario es la de que su concepción de los cuerpos -como cantidades de espacio dotadas por Dios de ciertas propiedades fenoménicas- tiene consecuencias metafísicas y teológicas apropiadas. Aquí sólo mencionaré una de ellas, relacionada con el quinto comentario y con la problemática cartesiana de la interacción entre la sustancia extensa y la sustancia pensante. Recordemos que según Newton el espacio o extensión es “como un efecto emanativo de Dios”, y que no es una sustancia independiente de Dios. Y Newton dice:

¹⁵⁶ Para estas afirmaciones de Newton cfr. *De Gravitatione*, *op.cit.* pp. 141-142.

...si la extensión está contenida eminentemente en Dios, o el ente pensante más grande, ciertamente la idea de la extensión estará contenida eminentemente en la idea del pensar, y por tanto la distinción entre estas ideas [la de extensión y la de pensamiento] no será tan grande como para que no puedan ambas pertenecer a la misma sustancia creada, esto es, como para que un cuerpo no pueda pensar y una cosa pensante no pueda extenderse. Pero si adoptamos la noción vulgar (o la falta de noción) de un cuerpo, según la cual reside en los cuerpos una cierta realidad ininteligible que llaman sustancia, en la cual inhieren todas las cualidades de la sustancia, esto (aparte de su ininteligibilidad) está expuesto a los mismos inconvenientes que la idea cartesiana.¹⁵⁷

Así, Newton sugiere que la idea de que la extensión no es una sustancia separada de Dios, facilita la comprensión de la relación entre alma y cuerpo. La relación entre Dios, que es una sustancia pensante, y la extensión, que es un efecto de Dios, se propone como una relación próxima, que hace perfectamente inteligibles las actuaciones de la voluntad de Dios sobre (los cuerpos de) la extensión. La propuesta parece continuar, entonces, con la idea de que la misma relación de proximidad (en virtud de la "semejanza" entre hombre y Dios -recuérdese el quinto comentario) ha de darse entre las mentes creadas y la extensión, aunque la proximidad quede disminuida por la finitud, y el poder de la voluntad humana sobre la extensión no sea comparable con el poder de la voluntad divina. Es dudoso, de todos modos, que este argumento pueda aclarar el problema cartesiano de la interacción, al menos si los presupuestos teológicos del argumento -de Newton- no se aceptan.

¹⁵⁷ "...if extension is eminently contained in God, or the highest thinking being, certainly the idea of extension will be eminently contained within the idea of thinking, and hence the distinction between these ideas will not be so great but that both may fit the same created substance, that is, but that a body may think, and a thinking being extended. But if we adopt the vulgar notion (or rather lack of it) of body, according to which there resides in bodies a certain unintelligible reality that they call substance, in which all the qualities of the substance are inherent, this (apart from unintelligibility) is exposed to the same inconveniences as the Cartesian view". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 143.)

A lo largo de sus consideraciones sobre el espacio y la materia Newton ha dejado clara su concepción anticartesiana: la extensión o espacio es eterna, infinita, inmóvil y podría no contener cuerpos sin dejar de ser espacio; los cuerpos, por otro lado, no son cosas cuya naturaleza se agote en ser partes de la extensión, sino que son creados y perecederos, finitos, móviles e impenetrables. Pero antes de concluir su disquisición sobre los cuerpos, Newton ofrece básicamente dos consideraciones más contra la concepción cartesiana del espacio y la materia.

La primera de esas consideraciones es que -en contra de Descartes- cuando abstraemos de un cuerpo todas sus cualidades sensibles, según Newton no nos queda meramente la extensión ocupada por el cuerpo, sino también al menos "las facultades por medio de las cuales el cuerpo puede estimular las percepciones de la mente y mover otros cuerpos".¹⁵⁸ Según Newton, estas facultades o capacidades subsisten al proceso de abstracción de las cualidades secundarias del cuerpo. Pero es difícil discernir un argumento a favor de esta tesis en el texto. (Sí hay, por el contrario, argumentos en contra de posibles objeciones a la tesis, pero esto no es lo mismo que un argumento positivo a favor de la tesis misma.)

¹⁵⁸ Las ideas de Newton sobre los cuerpos presentan puntos de contacto con ideas de otros autores tanto anteriores como posteriores. En particular, la insistencia en que lo que podemos conocer acerca de la naturaleza de los cuerpos se deriva exclusivamente de las cualidades sensibles que percibimos en ellos, es una idea que se encuentra ya en Gregorio de Nisa (335-398) y posteriormente en Berkeley (1685-1753). Para una exposición detallada de algunos de estos puntos de contacto, véase José A. Robles "Las tesis panteístas de Isaac Newton", *Diánoia*, vol. 46, México, 2001, pp. 3-40.

"For when the accidents of the bodies have been rejected, there remains not extension alone as he [Descartes] imagined, but also the faculties by which they can stimulate perceptions in the mind and move other bodies". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 147.)

La segunda consideración de Newton es en defensa de la existencia de vacíos en la extensión, esto es, de partes del espacio que no contienen cuerpo alguno. Más aún, es en defensa de la tesis, radicalmente anticartesiana una vez más -de que la mayor parte de los espacios celestes está vacía, y no llena del éter de los vórtices cartesianos-, hay dos razones fundamentales que Newton da:

Si hubiera un espacio aéreo o etéreo de tal clase que cediera sin resistencia alguna a los movimientos de los cometas y de cualesquiera otros proyectiles, yo creería que ese espacio está completamente vacío.¹⁵⁹

Puesto que la resistencia del éter es (...) tan pequeña comparada con la resistencia del mercurio como para poder ser diez o cien mil veces menor, hay una gran razón para creer, que con mucho la mayor del espacio etéreo es un vacío, esparcido entre las partículas etéreas.¹⁶⁰

La primera de estas razones reaparecerá décadas más tarde como parte de un argumento contra los vórtices cartesianos en el Escolio General a los *Principia*.

3.1.4 Las fuerzas

Al hacer su crítica a las tesis cartesianas sobre el movimiento, Newton había establecido que el principio causal del movimiento debía estar vinculado, en algún sentido, a la materia pues el espacio era inerte y el movimiento no podía ser generado sin la actuación de alguna fuerza.¹⁶¹

¹⁵⁹ "If there be any aerial or aetherial space of such a kind that it yielded without any resistance to the motions of comets or any other projectiles I should believe that it was utterly void". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 146.)

¹⁶⁰ "Since the resistance of the aether is (...) so small when compared with the resistance of quicksilver as to be over ten or a hundred thousand times less, there is all the more reason for thinking that by far the largest part of the aetherial space is void, scattered between the aetherial particles". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 147.)

¹⁶¹ Cfr. *De Gravitatione, op.cit.* p. 127.

Hacia el final del manuscrito *De Gravitatione*, una vez terminada la digresión que acabamos de comentar, Newton da una serie de definiciones de las fuerzas o 'poderes' que causan el movimiento de los cuerpos. Comienza con la siguiente definición:

Vis (Fuerza). Es el principio causal del movimiento y el reposo. Y es o bien algo externo que genera o destruye o de alguna manera cambia el movimiento impreso en otro cuerpo; o es un principio interno por medio del cual el movimiento o el reposo de un cuerpo se conserva, y por el que cualquier ente se esfuerza a perseverar en su estado y opone resistencia.¹⁶²

Esta definición general de fuerza será siempre la misma a lo largo de su obra, aunque no así las clases de fuerzas que de esta definición se derivan.¹⁶³ Es interesante que Newton conservara siempre la misma definición general de fuerza, pues ésta sugiere que hay fuerzas inherentes ("principios internos") a la materia, aun cuando aparentemente desde Descartes se había logrado erradicar las 'cualidades ocultas'.

Aun cuando la clasificación de fuerzas no se conserva del todo a través de la evolución del pensamiento de Newton, la clasificación del *De Gravitatione* es importante no sólo para el rastreo de la evolución del concepto de fuerza sino porque además hay relaciones directas entre estas nociones de fuerza y otras

¹⁶² "Force is the causal principle of motion and rest. And it is either an external one that generates or destroys or otherwise changes impressed motion in some body; or it is an internal principle by which existing motion or rest is conserved in a body, and by which any being endeavours to continue in its state and opposes resistance". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 148.)

¹⁶³ Como se verá en la exposición de los *Principia*.

nociones que utilizará Newton.¹⁶⁴ A continuación transcribo la clasificación de fuerzas del *De Gravitatione*.

Conatus. Es la fuerza a la que se opone una resistencia.¹⁶⁵

Es decir, es una fuerza que no está actuando plenamente porque está siendo impedida (por otra cosa).

Impetus. Es una fuerza en cuanto que es impresa en otra cosa.¹⁶⁶

Es decir, es una fuerza externa al cuerpo sobre el cual actúa.

Inertia. Es una fuerza interna del cuerpo, de tal manera que el estado de éste no lo cambie fácilmente una fuerza externa violenta.¹⁶⁷

Es decir, es la resistencia que opone un cuerpo a cambiar su estado de movimiento o de reposo.

Presión. Es el esfuerzo de las partes contiguas de penetrar las dimensiones de las otras partes contiguas. Pues si éstas pudieran penetrar, la presión cesaría. Y la presión se da sólo entre partes contiguas, las que a su vez presionan otras partes contiguas, hasta que la presión es transmitida a la parte más remota de cualquier cuerpo, ya sea éste duro, suave o fluido. Y en esta

¹⁶⁴ V.g., en los escritos en los que califica la materia como 'corpúscular', siempre estarán implicadas fuerzas de *presión*. Sin embargo en los *Principia*, donde explica la materia de una manera atomista, las fuerzas en cuestión serán fuerzas derivadas de la *inertia* y del *impetus* del *De Gravitatione*. Claro está, todo esto al margen de la diversidad de tipos de fuerza que, asimismo, incluye en la explicación del movimiento de las partículas y/o átomos según la obra. Esto es, las fuerzas magnéticas o eléctricas, o de atracción y repulsión, etc.

¹⁶⁵ "Conatus [endeavour] is resisted force, or force in so far as it is resisted". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 148.)

¹⁶⁶ "Impetus is force in so far as it is impressed on a thing". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p. 148.)

¹⁶⁷ "Inertia is force within a body, lest its state should be easily changed by an external exciting force". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p.148.)

acción se basa la comunicación del movimiento por medio de un punto o una superficie de contacto.¹⁶⁸

Es decir, es la fuerza que un cuerpo ejerce sobre otro al ponerse en contacto con él.

Gravedad. Es la fuerza en un cuerpo que lo impele a descender. Aquí, sin embargo, descenso no significa sólo un movimiento hacia el centro de la Tierra sino también hacia cualquier punto o región, o desde cualquier punto. De esta manera, si el empeño (*conatus*) del éter, que gira alrededor del Sol, para alejarse de su centro se toma como gravedad, [entonces] el éter al alejarse del Sol podría decirse que desciende.¹⁶⁹

Es decir, la gravedad es una tendencia en un cuerpo a moverse hacia un punto determinado. Nótese que Newton parece dar por supuesta, o al menos conceder la posibilidad de la existencia de los vórtices de éter que en los *Principia* criticará. Pero esto no implica que acepte, ni siquiera en esta época, que los posibles vórtices de éter explican el movimiento planetario, pues recuérdese que para Newton el espacio celeste está prácticamente vacío, y si es así es difícil ver cómo los vórtices, incluso si existen, puedan tener capacidad de arrastrar nada.

¹⁶⁸ "Pressure is the endeavour of contiguous parts to penetrate into each others' dimensions. For if they could penetrate the pressure would cease. And pressure is only between contiguous parts, which in turn press upon others contiguous to them, until the pressure is transmitted to the most remote parts of any body, whether hard, soft or fluid. And upon this action is based the communication of motion by means of a point or surface of contact". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, p.148.)

¹⁶⁹ "Gravity is a force in a body impelling it to descend. Here, however, by descent is not only meant a motion towards the center of the Earth but also towards any point or region, or even from any point. In this way if the conatus of the aether whirling about the Sun to recede from its center be taken for gravity, the aether in receding from the Sun could be said to descend". (*De Gravitatione, op.cit. ibid.*, pp.148-149.)

3.2 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

Dos son básicamente los temas rectores que dominaron la filosofía natural de Newton a lo largo de su obra: uno, establecer la existencia de un espacio independiente de la materia para así poder definir el movimiento con respecto a ese espacio y, dos conocer la estructura de la materia para así poder determinar las fuerzas que causan el movimiento.¹⁷⁰ El *De Gravitatione* junto con los *Principia* habrían estado encaminados fundamentalmente a resolver el problema del movimiento cartesiano, mientras que el *De Aere et Aethere* y las Cuestiones de la *Óptica* habrían estado destinados fundamentalmente a determinar los tipos de fuerzas que existen.¹⁷¹ (Esto no excluye, como ya hemos visto en el caso del *De Gravitatione*, que cada texto trate además otras cuestiones.)

Los *Principia* son la obra magna de Newton, publicada en su primera edición en 1687 (hubo otras dos ediciones en vida de Newton, en 1713 y 1725) y es el escrito que en esta sección nos ocupa. Su rasgo distintivo, que el *De Gravitatione* y los demás textos newtonianos no presentan, es el uso meticuloso de un formalismo matemático. En los *Principia*, cuando Newton retoma las ideas de movimiento, espacio y materia -que había avanzado en el *De Gravitatione*-, las considera siempre como cantidades susceptibles de matematización.

¹⁷⁰ Esta hipótesis la postulo con base no sólo en los textos analizados en este trabajo, sino a partir de mi lectura de otros textos, como el *De Aere et Aethere*, las 'Cuestiones' de la *Óptica*, y algunos de los borradores que Newton escribió relacionados con los *Principia*, como la 'Conclusio', 'Borrador parcial del Prefacio', 'Añadido en borrador a los Principia', 'Atmósfera Solar' y 'Sobre el movimiento en elipses' -estos borradores fueron publicados por los Hall en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*, *op.cit.*

Los *Principia* son en gran medida una reacción a las teorías cartesianas sobre la cuestión del movimiento celeste en el pleno. Recordemos que los cartesianos recurrían a una teoría de vórtices de éter para dar cuenta de las órbitas de los planetas y de la posición central del Sol. Newton postulará que las trayectorias de los planetas y la posición central del Sol se explican por la existencia de un espacio vacío y ciertas fuerzas de atracción.

En los *Principia* Newton argumenta en contra de los vórtices lo siguiente:

La hipótesis de los vórtices tropieza con muchas dificultades. Para que todo planeta, mediante un radio trazado hasta el Sol, pueda describir áreas proporcionales a los tiempos, los tiempos periódicos de las diversas partes de los vórtices deberían conservar la razón del cuadrado de las distancias con respecto al Sol (...) Para que los vórtices menores puedan mantener sus revoluciones en torno a Saturno, Júpiter y otros planetas, *nadando tranquilamente en el gran vórtice del Sol, los tiempos periódicos de las partes del vórtice solar deben ser iguales*. Pero la rotación del Sol y de los planetas en torno a sus ejes, que debería corresponder a los movimientos de sus vórtices, discrepa mucho de todas esas proporciones.¹⁷²

También argumenta a favor de la existencia del espacio vacío y de las fuerzas de atracción:

Los proyectiles sólo experimentan la resistencia del aire en nuestro aire. Suprímase el aire, como acontece en el *vacío de Boyle*, y la resistencia cesa, pues en este vacío una tenue pluma y un trozo de oro descienden con la misma velocidad. *Y el mismo argumento debe aplicarse a los espacios celestes situados por encima de la atmósfera terrestre; en esos espacios, donde no existe aire que resista sus movimientos, todos los cuerpos se moverán con la máxima libertad; y los planetas y cometas girarán perpetuamente en órbitas dadas por especie y posición (...)* Pero no debe suponerse que simples causas mecánicas podrían dar nacimiento a tantos movimientos regulares puesto que los cometas vagan libremente por todas las órbitas de los cielos en órbitas muy excéntricas. Debido a

¹⁷¹ Los temas del movimiento y las fuerzas están íntimamente relacionados. Sin embargo, sugiero esta separación pues el mismo Newton parece, dependiendo del texto que se trate, dar mayor peso a uno que a otro.

¹⁷² I. Newton, 'Escolio General' de los *Principios matemáticos de la filosofía natural*, traducción de Antonio Escohotado, Tecnos, Madrid, 1997, p. 617. (Las cursivas son mías.)

este tipo de movimiento, los cometas transitan muy veloz y fácilmente a través de las orbes de los planetas; y en sus afelios, donde se mueven con la máxima lentitud y se detienen el máximo tiempo, se alejan unos de otros hasta las mayores distancias sufriendo así una perturbación mínima proveniente de sus atracciones mutuas.¹⁷³

En las siguientes subsecciones estudiaremos con algún detalle la teoría que el propio Newton ofreció en los *Principia* de estos y otros fenómenos que aduce en su crítica contra Descartes. Será conveniente ver cómo esa teoría se desarrolló como una 'síntesis' de algunos estudios —particularmente en Mecánica— de la ciencia de los siglos XVII y XVIII. Por este motivo en mi exposición incluiré brevemente algunas de las ideas desarrolladas por figuras como Kepler, Huygens y Hooke.

3.2.1 El movimiento planetario antes de los *Principia*

Para ver cómo la 'mecánica celeste' se configura como disciplina de la manera en que lo hizo, lo que haré es presentar la evolución de la explicación del movimiento planetario antes de los *Principia* en dos etapas:

1. La de la concepción del movimiento planetario como debido a las fuerzas centrífugas y la presión del éter.
2. La de la concepción del movimiento planetario como debido a la inercia y la acción de fuerzas centrípetas.

Previo a comenzar la exposición de estas fases de la concepción del movimiento planetario, es preciso recordar una vez más que antes de que se considerara que el movimiento planetario se debía a la acción de alguna fuerza (como las que a continuación se verán), la idea que había era que los movimientos

¹⁷³ *Ibid.*, pp. 617-618. (Las cursivas son mías.)

orbitales eran naturales, esto es, que la circularidad que en éstos se observaba no era provocada por nada externo sino que era así debido a la propia naturaleza de los cuerpos.^{174,175}

Esta idea de que los planetas no precisaban de nada externo para mantenerse a una distancia constante de sus centros de rotación, pues no estaba dentro de su naturaleza alejarse de ellos, empezaría a ver su fin con el nacimiento del sistema cartesiano. A partir de la formulación del principio de inercia, en particular -que postulaba que cuando un cuerpo se mueve tiende a continuar este movimiento en línea recta-, la cuestión que surgía era la de qué hacía entonces que los planetas se mantuvieran en una órbita cerrada.

Esta pregunta obtendría eventualmente dos respuestas. Una dentro del mismo sistema cartesiano, y la otra en el sistema newtoniano. Comienzo recapitulando y ampliando lo que ya sabemos sobre la respuesta cartesiana.

3.2.1.1 *La concepción del movimiento planetario como debido a las fuerzas centrífugas y la presión del éter*

Sabemos que Descartes postulaba que, puesto que la naturaleza *debía*¹⁷⁶ ser un pleno material, inevitablemente el movimiento había de realizarse por

¹⁷⁴ Esta idea, que se mantuvo hasta bien entrado el siglo XVII, proviene de la concepción aristotélica de que existían dos tipos de movimiento: el 'natural' que era el que los cuerpos realizaban por sí mismos en función de su naturaleza, y el 'violento' que se producía por el arrastre o empuje del cuerpo, apartándolo de la trayectoria que seguía en ese momento.

¹⁷⁵ Recordemos que en el capítulo 1 se vio cómo Galileo postuló, casi simultáneamente a Descartes, un principio de inercia (según el cual un cuerpo tiende a conservar su estado de movimiento o de reposo). Pero siempre mantuvo que el movimiento circular de los planetas era un movimiento natural. Para tener una visión más amplia de esta cuestión, se puede consultar el libro de Rioja y Ordóñez, *op.cit.* p. 156.

¹⁷⁶ Por las razones metafísicas que vimos en detalle en el capítulo 1.

impactos y en trayectoria circular. Pero esta tesis deja abierta la cuestión de si ese movimiento circular es el movimiento inercial. Descartes propuso que el movimiento inercial era rectilíneo, y por tanto que las partes de la materia al colisionar *tendían* a apartarse de los círculos o vórtices que describían –y al hacer esto, tendían a seguir trayectorias rectilíneas. Sabemos que en la práctica Descartes hizo pruebas de ‘movimiento’ con una piedra en una honda, en las que claramente la piedra salía despedida por la tangente cuando el movimiento circular cesaba. En el caso concreto del movimiento planetario, la explicación de que los planetas no salieran disparados sino que giraran alrededor del Sol era que el éter que los circundaba ejercía una presión en la dirección contraria al movimiento tangencial de éstos.¹⁷⁷

Huygens, el físico y astrónomo holandés miembro de la *Royal Society* y posteriormente de la *Académie Royale des Sciences*, adoptó sin reticencias la idea cartesiana, si bien con ciertas modificaciones. Para dar cuenta del comportamiento de los vórtices no sólo se ciñó a la concepción cartesiana sino que consideró asimismo su conexión con la aceleración de los graves¹⁷⁸ en caída libre de Galileo. Con ello intentó cuantificar el movimiento de los vórtices para así

¹⁷⁷ Recordemos que dentro del sistema cartesiano el éter que corresponde a las partes del segundo elemento posee una elevada velocidad y por tanto tiene una mayor tendencia a alejarse del centro que las partes que conforman los cuerpos de mayor tamaño y que tienen menor velocidad. Por otra parte, al no existir el vacío, el éter que asciende más rápido hace que los otros cuerpos descendan y ocupen el lugar dejado por éste a su paso. Así, por estas mismas razones, el Sol que es el cuerpo de mayor tamaño permanece en el centro.

¹⁷⁸ El término ‘gravedad’ originalmente significa *pesantez* y en un principio sólo tenía referencia a los objetos terrestres. Por otro lado, todavía aun en el siglo XVII, algunos astrónomos como Galileo creían que las órbitas planetarias eran movimientos naturales, i.e., que no mediaban fuerzas para que los planetas se mantuvieran en órbita. La *gravitación* que incluirá la ‘caída’ de los planetas hacia el Sol (y de los satélites hacia los

dar una descripción matemática de éstos. Recordemos que el que la teoría de los vórtices no hubiese sido matematizada era una de las objeciones a la que ésta se enfrentaba.

Huygens tomaba como modelo explicativo para cuantificar el movimiento de los vórtices¹⁷⁹ un balde lleno de agua con unos corchos flotando, a los cuales hacía girar al hacer girar el agua.¹⁸⁰ Con este modelo intentaba hacer plausible que, al igual que la 'fuerza centrífuga' generada al hacer girar el agua desplazaba los corchos (más ligeros) hacia la periferia, así los planetas en los vórtices (de éter) eran alejados del Sol, esto es, del cuerpo más 'pesante' de nuestro sistema solar.

Inspirándose en experimentos como éste, Huygens dio una fórmula matemática para calcular la fuerza centrífuga de un cuerpo con una cierta masa que gira en un torbellino alrededor de otro cuerpo. Pero esta fórmula no servía para describir adecuadamente el movimiento de los planetas. Esto fue así no debido a que los cálculos de Huygens fueran erróneos para describir el movimiento circular de un cuerpo arrastrado por un remolino, sino simplemente a que las trayectorias de los planetas no son circulares, sino de hecho elípticas.

Casi en la misma época en que seguramente escribe *De Gravitatione*, hacia 1666, Newton obtiene un importante resultado que indirectamente sería el primer

planetas que circundan) y las fuerzas que mantienen a los planetas en su trayectoria, será un concepto sólo formulado hasta la época de los *Principia*.

¹⁷⁹ Otro de los modelos que Huygens usaba para explicar el movimiento planetario era el del movimiento de un péndulo, pues éste es un cuerpo grave suspendido de un punto por una cuerda o similar que tiene un movimiento de vaivén. Ahora bien, en este vaivén se contraponen un movimiento inercial (que para Huygens era la tendencia centrífuga) y la fuerza de gravedad.

gran paso hacia la configuración de la 'mecánica celeste'. Este resultado tan importante sería -paradójicamente- la obtención de la misma fórmula matemática que Huygens para calcular las (mal llamadas) 'fuerzas centrífugas' en casos como el de la honda o el remolino de agua. Años después Newton se daría cuenta de que esta fórmula es un caso especial derivable de su método más general para calcular órbitas en los *Principia*.

Las llamadas fuerzas centrífugas se refieren a la tendencia que todo cuerpo tiene -en un sistema con movimiento circular- a alejarse del centro de rotación. Pero son mal llamadas *fuerzas*¹⁸¹ porque hoy sabemos que no son nada más que la tendencia del cuerpo a permanecer en su estado de movimiento rectilíneo y uniforme -aun dentro del sistema rotacional-; aparentemente el cuerpo huye del centro, cuando lo que en realidad sucede es que el sistema en rotación impide que el cuerpo siga en su dirección original.

La razón por la que Newton se interesó por cuantificar las llamadas 'fuerzas centrífugas' fue la misma que había llevado a Huygens a cuantificarlas también. Esta razón era que, no obstante que debido a las nociones de inercia rectilínea y gravedad como principios del movimiento planetario quedaba atrás la diferencia entre una física terrestre y una física celeste, ello no bastaba para tener un conocimiento *preciso* de la velocidad de los planetas y determinar v.g. sus distancias al Sol o bien el momento en que un planeta en particular iba a estar en el perihelio o en conjunción con otro. Como lo que mostraba la experiencia es que los cuerpos en movimiento circular tienden a alejarse de sus centros de rotación,

¹⁸⁰ Según parece ser, esta demostración la llevó a cabo en una de las sesiones de la *Académie Royale des Sciences*.

lo que se necesitaba era poder calcular la magnitud del esfuerzo que los planetas hacían al intentar alejarse del Sol para entonces poder determinar la velocidad a la que dichos planetas se desplazaban. Newton dio para calcular este esfuerzo, y las velocidades y aceleraciones correspondientes, la misma fórmula que Huygens.

Ahora bien, aun cuando Newton (al igual que Huygens) cuantificó fuerzas que no existen, o dicho de otro modo 'ficticias', de cualquier manera esto le llevaría, con el tiempo, a descubrir (o aceptar de Hooke) las 'fuerzas centrípetas',¹⁸² i.e., las fuerzas que tienden a atraer hacia un centro a los cuerpos. Fuerzas que sí son reales y que serían el camino directo hacia la configuración de la 'mecánica celeste' newtoniana.

Durante casi quince años Newton se desentendió del movimiento planetario. Otros temas ocuparon su atención, tales como determinar qué tipos de fuerza existían en la naturaleza.¹⁸³ Cuando volvió a ocuparse de los planetas, ya abordaría la cuestión de su movimiento de modo muy diferente. La influencia cartesiana en sus escritos de juventud daría paso a un modo de explicación más próximo al de Hooke, tanto en lo que se refiere a la explicación del movimiento en el vacío y en medios resistentes como en lo que se refiere a la inflexión del movimiento rectilíneo en curvo debido a un principio de atracción. La 'fuerza centrífuga' y la presión del éter ya no serían los elementos relevantes sino que esta pareja de elementos se vería sustituida por la de la inercia y la 'fuerza centrípeta'.

¹⁸¹ Huygens parece haber sido quien por primera vez usó la palabra 'centrífuga'.

¹⁸² De acuerdo a Westfall en su "Desenvolvimiento de los Principia de Newton", *op.cit.* p. 31, la inserción de la expresión 'fuerza centrípeta', o fuerza que busca el centro, la acuñó Newton, corrigiendo expresamente la anterior expresión de Huygens.

3.2.1.2 El movimiento planetario debido a la inercia y a la acción de fuerzas centrípetas

La redacción de los *Principia* quizás no habría tenido ocasión de no ser por los conocimientos obtenidos por Boyle (1627-1691) y Hooke (1635-1703) de las propiedades del aire y del vacío,¹⁸⁴ en particular de la elasticidad y resistencia del aire. De hecho, se puede decir que los *Principia* son un tratado de hidrodinámica a diferencia, irónicamente, del *De Gravitatione* que pretendía ser un tratado de hidrostática y que terminó siendo otra cosa totalmente.¹⁸⁵ Lo que Newton hace no es dar un argumento en contra de los vórtices cartesianos con base en sus propias investigaciones únicamente -como lo había hecho en el *De Gravitatione*, al intentar derrocar con argumentos básicamente filosóficos las ideas cartesianas sobre la extensión-, sino que se vale de los autores mencionados para dar sus razones de la inviabilidad del movimiento de los astros en el éter cartesiano. Los experimentos de dichos autores lo llevaron a confirmar las tesis que veíamos hacia el final de *De Gravitatione*, según las cuales la supuesta presión del éter para vencer la inercia (o la fuerza centrífuga) era imposible de conciliar con lo conocido acerca de la resistencia de los fluidos. Los nuevos experimentos mostraban sin lugar a muchas dudas que la resistencia del éter en el espacio era

¹⁸³ Además de los temas teológicos y alquímicos que en este trabajo no se revisan.

¹⁸⁴ Para saber acerca de los conocimientos del aire y del vacío obtenidos por Boyle a partir de sus experimentos, véase a Boyle en sus *Nuevos experimentos físico-mecánicos sobre la elasticidad del aire*. Asimismo, puede verse una selección de textos boyleanos en los que se trata esta cuestión en *Física, Química y Filosofía mecánica*. Edición de Carlos Solís, Alianza, Madrid, 1985.

¹⁸⁵ Cfr. Carlos Solís, *La Revolución de la Física en el siglo XVII*, AKAL, Madrid, 1991, p. 34: "mientras que en Francia el problema que más llamaba la atención era el del vacío, a los ingleses, más acostumbrados al atomismo y menos sujetos a la fascinación cartesiana, les preocupaba más bien el problema de la *elasticidad* del aire". (Las cursivas son del autor.)

enormemente menor que la de cualquier fluido conocido, lo que hacía pensar que o bien no había éter en los espacios celestes o muy poco.

En cuestiones propiamente cinemáticas, una influencia decisiva en Newton es Kepler (1571-1630), de quien Newton acepta resueltamente la tesis de la elipticidad de las órbitas planetarias y sus otras leyes sobre el movimiento planetario. De manera más puntual, las leyes del movimiento que Newton heredó de Kepler son: Primera ley: Cada planeta se mueve en una órbita elíptica con el Sol en uno de sus focos. Segunda ley: Una línea que va del Sol a cualquier planeta barre áreas iguales de espacio en intervalos iguales de tiempo. Tercera ley: Los cuadrados de los tiempos de revolución (períodos) de los planetas son proporcionales a los cubos de sus distancias promedio al Sol.

Aun aquí, tiene interés notar que, de no haber habido en ese tiempo las investigaciones sobre el movimiento en medios resistentes, la explicación newtoniana de la relación matemática entre los tiempos orbitales y las distancias promedio al Sol simplemente se habría presentado como una de tantas descripciones cinemáticas alternativas¹⁸⁶ que podrían haber dado cuenta de la forma elíptica de las órbitas pero sin mayor trascendencia. Kepler, por otro lado, no escribió nada acerca del medio en el que los movimientos planetarios tienen lugar.

Hooke propició en buena medida la redacción de los *Principia*,¹⁸⁷ pues era el Supervisor de Experimentos¹⁸⁸ de la *Royal Society*, esto es, la persona que

¹⁸⁶ Como supuestamente lo fue la teoría copernicana respecto de la ptolomeica para dar cuenta del movimiento planetario.

¹⁸⁷ Aunque haya sido Halley (1656-1742) el que promoviera y financiara este proyecto.

rendía los informes sobre las investigaciones del aire. Pero además fue él quien por primera vez postuló que la inflexión de la trayectoria rectilínea en curva es debida a un principio de atracción.¹⁸⁹ En 1666 Hooke presentó una memoria a la *Royal Society* denominada *On the Inflection of the Direct Motion into a Curve by a Supervening Attractive Principle* (Sobre la Inflexión de un Movimiento Rectilíneo en Curvo a Consecuencia de un Principio de Atracción). Tal como el propio título indica, se trataba de analizar la inflexión de un movimiento rectilíneo en curvo atribuyéndose su causa a un principio de atracción. Luego, en 1670, Hooke pronuncia una conferencia ante la *Royal Society*, que se publicaría cuatro años más tarde en Londres. Su título era *An Attempt to Prove the Motion of the Earth by Observations* (Tentativa de Probar el Movimiento de la Tierra mediante Observaciones), y sus proposiciones principales eran las siguientes:

1. Todos los cuerpos celestes, sin excepción, poseen una capacidad de atracción hacia su propio centro. En virtud de ella, no sólo atraen a las propias partes de las que están hechos (la Tierra atrae a los cuerpos terrestres, por ejemplo), sino también a todos los cuerpos celestes que se hallan en la esfera de su actividad.
2. Todos los cuerpos conservan su movimiento en línea recta en tanto una fuerza no los obligue a describir una curva.

¹⁸⁸ El título oficial del puesto de Hooke como 'Supervisor de Experimentos' era debido a que no sólo trabajaba en los experimentos sino que además debía tener el conocimiento directo y control de todas las investigaciones.

¹⁸⁹ La posibilidad de que el movimiento planetario se diera a partir de la inercia y una fuerza de atracción central era algo que ya estaba en las mentes de algunos miembros de la *Royal Society*, aparte de Hooke y Newton.

3. La acción de las fuerzas atractivas disminuye a medida que la distancia aumenta según una proporción (que Hooke confiesa desconocer, pero que supone que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia).¹⁹⁰

Algo importante que notar acerca de estos escritos de Hooke son las fechas. Por estos tiempos Newton había apenas redactado el *De Gravitatione* -al menos en lo que a temas de movimiento planetario se refiere- y su visión era muy diferente. Por otro lado, Westfall afirma que en los trabajos newtonianos con anterioridad a los *Principia*, la idea de *gravitación* no estaba contenida. Aun cuando los historiadores mencionan a menudo el pasaje autobiográfico de su vejez, en el que supuestamente Newton mismo cuenta que cuando joven empezó a especular acerca del alcance de la fuerza de gravedad y luego al pensar en los *Principia* veinte años después vio que sus “especulaciones se correspondían muy de cerca” con las de su juventud, el caso es que, continua diciendo Westfall, en esas fechas de su juventud, Newton siempre habló de las tendencias de los cuerpos en órbitas a apartarse del centro hasta que comenzó la correspondencia con Hooke en 1679.¹⁹¹

Las de Hooke fueron ideas y resultados básicos para que los *Principia* llegaran a ver la luz. Creo que parte de ello cabe colegirlo del parágrafo de Newton que a continuación presento.

En la publicación de esta obra el excepcionalmente perspicaz y eruditísimo señor Edmund Halley no sólo me ayudó a corregir los errores de imprenta y a

¹⁹⁰ Cfr. A. Rioja y J. Ordóñez, *Teorías del Universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999, pp. 174-175.

¹⁹¹ Cfr. R. S. Westfall, “El desenvolvimiento de los *Principia* de Newton”, en *Resortes de la creatividad científica*, FCE, México, 1995, pp. 27-31.

preparar las figuras geométricas, sino que el libro únicamente ha llegado a aparecer debido a su insistencia; cuando obtuvo de mí las demostraciones sobre la figura de las órbitas celestes, me urgió continuamente a comunicarlo a la Royal Society, quien más tarde –debido a su amable estímulo y a sus ruegos– me comprometió a la publicación. *Pero después de haber empezado a considerar las desigualdades de los movimientos lunares, y entrando en algunas otras cosas relacionadas con las leyes y medidas de la gravedad y otras fuerzas; y las figuras que describían los cuerpos atraídos de acuerdo con leyes dadas; y el movimiento de cuerpos en medios resistentes; las fuerzas, densidades y movimientos de los medios, las órbitas de los cometas y cosas semejantes, pospuse la publicación hasta haber investigado estas materias y poder enunciar todo el conjunto.*¹⁹²

Como puede verse, no hay mención explícita de Hooke. Pero esto puede deberse a su historia de disputas intelectuales y de prioridad. Es sabido que Newton retoma la cuestión del movimiento planetario a raíz de una breve correspondencia con Hooke en la que éste le había explicado sus hipótesis 1, 2 y 3 mencionadas más arriba, y le preguntaba a Newton si sería posible calcular la forma de la órbita descrita por un cuerpo alrededor del Sol con base en esas hipótesis. Newton parece haber confundido a Hooke al corregir a éste negando que esa forma pudiese ser elíptica, y posteriormente canceló abruptamente la correspondencia.

El planteamiento a partir del cual trabajó en este estadio y gracias al cual logró configurar la 'mecánica celeste' -aunque como se ha mencionado repetidamente dicho planteamiento pertenecía realmente a Hooke-, era el de la descomposición de los movimientos orbitales en uno inercial en dirección de la tangente y uno acelerado dirigido hacia el centro de la correspondiente órbita.

La importancia de este planteamiento radica en que, a partir de él, pudo corregir las concepciones erróneas de su juventud, como la relativa a la existencia

¹⁹² Prefacio de Newton a la primera edición de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, op.cit. p. 7. (Las cursivas son mías.)

de 'fuerzas centrífugas' y la de que el movimiento planetario se daba a partir de un equilibrio de fuerzas, concepciones que de no haber sido corregidas le hubieran obstaculizado el camino hacia la noción de atracción gravitatoria entendida como 'fuerza centrípeta'.

La manera en que Newton corrige sus errores conceptuales vía Hooke, i.e., a partir del planteamiento de Hooke, es muy interesante además de reveladora de su capacidad matemática. Y es que a partir del mero postulado hookeano, i.e., el de la descomposición de los movimientos orbitales, y su implicación de que el movimiento planetario no debía ser considerado como un equilibrio de fuerzas sino como un desequilibrio, en el cual una fuerza no compensada desvía continuamente un cuerpo de su camino rectilíneo y lo mantiene en una órbita cerrada, lo que Newton hace es derivar, una a una, todas las piezas que lo conducirían a la configuración de la 'mecánica celeste'. A partir de la descomposición del movimiento orbital en un movimiento inercial y otro acelerado, lo que logra derivar son dos cosas: una, la forma de la órbita (elíptica) y dos, el tipo de fuerza responsable de la atracción gravitatoria. Y a partir de la idea de que el movimiento planetario es el resultado de un desequilibrio de fuerzas, lo que deriva es la conexión entre las órbitas elípticas de Kepler y la variación de la fuerza de atracción del Sol a los planetas en función del cuadrado de la distancia.

Veamos un poco de la historia de cómo fue obteniendo Newton los resultados mencionados.

Como se mencionó en una nota al inicio de esta sección,¹⁹³ la idea de que el movimiento planetario se debía a la inercia de los cuerpos y a una fuerza de atracción central ya estaba en las mentes de algunos miembros de la *Royal Society*. Pero aunque estos concedían que la fuerza central debía disminuir con el cuadrado de la distancia,¹⁹⁴ lo que no lograban hallar era la conexión entre esta ley de fuerza y las órbitas elípticas de Kepler. Halley, miembro de la mencionada institución científica, se entrevistó con Newton y le planteó la cuestión de qué tipo de órbita resultaría matemáticamente, suponiendo una fuerza central que disminuyese con el cuadrado de la distancia.¹⁹⁵ Era la misma pregunta de Hooke años atrás, pero en los años transcurridos Newton había demostrado que la órbita sería elíptica. No había publicado ese resultado, sin embargo, debido quizá a desilusiones ante el escaso impacto de otros trabajos suyos. Al oír la pregunta de labios de Halley, la respuesta de Newton fue inmediata: la órbita sería una elipse.

Tres meses después Halley recibía una monografía de nueve páginas que hoy se conoce como el *De Motu Corporum* y en la cual Newton presentaba la demostración de la cuestión inversa, esto es, partiendo del supuesto que la trayectoria es elíptica lo que se podía calcular es el tipo de fuerza responsable de la atracción gravitatoria. En *De Motu* se presenta la relación entre las trayectorias elípticas y las *fuerzas centripetas*, uno de los sillares de los *Principia*, y se da el abandono definitivo de las explicaciones del movimiento planetario basadas en 'fuerzas centrífugas' y el éter cartesiano.

¹⁹³ Ver n.p.p. 189 en la pág. 103 de este trabajo.

¹⁹⁴ Esto podía ser supuesto a partir de la analogía con el comportamiento de la luz que Hooke había estudiado.

¹⁹⁵ Esto se conoce como el problema inverso del movimiento planetario.

3.2.2 El movimiento planetario en los *Principia*

En la sección anterior se vio cómo la concepción del movimiento planetario pasó de basarse en la idea de los movimientos naturales a basarse en la idea de los movimientos forzados y, dentro de esta idea, de un modelo con tendencias centrífugas a uno con atracción centrípeta. En esta sección se verá el camino teórico por el que la concepción de las 'fuerzas centrípetas' llevó hasta la formulación de la 'gravitación universal'.

3.2.2.1 Las fuerzas

Tras resolver la cuestión que Hooke y Halley le presentaron acerca de la trayectoria que un cuerpo seguiría si se viera atraído por una fuerza central, mostrando la relación entre las trayectorias elípticas y las 'fuerzas centrípetas', Newton postula en los *Principia* que la fuerza responsable de que los planetas y los cuerpos en general modifiquen su estado inercial es una fuerza externa, a la cual denomina *fuerza impresa* (*vis impresa*).

La *fuerza impresa* es una acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado, bien sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta.¹⁹⁶

De cualquier manera, para explicar cómo los planetas, en particular, modifican su trayectoria inercial, Newton tenía que puntualizar aun más, pues la definición de *fuerza impresa* era compatible con que el origen del cambio de estado de un cuerpo pudiera ser netamente mecanicista en el sentido cartesiano,

esto es, por choques con otros cuerpos o por presión del medio circundante. Newton necesitaba dejar la puerta abierta a otro tipo de explicación. Así, define un tipo particular de fuerza impresa capaz de hacer tender a los cuerpos hacia un punto central. Su definición de este tipo de fuerza parece sugerir que es un tipo de 'atracción inmaterial'. Este tipo particular de fuerza es la fuerza de la que hemos venido hablando, la *fuerza centrípeta*.¹⁹⁷

Fuerza centrípeta es aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos, o *tienden de cualquier modo* hacia un punto como hacia un centro.

De este tipo es la gravedad, por cuya mediación los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra, como también la fuerza magnética que atrae el hierro al imán, y esa fuerza –sea la que fuere– es aquella en cuya virtud los planetas son continuamente apartados de los movimientos rectilíneos que de otra manera seguirían, y obligados a girar en órbitas curvas.¹⁹⁸

Ahora bien, aun cuando la *fuerza centrípeta* fuera la responsable de que los planetas se mantuvieran en sus órbitas, ya que de no actuar ella los astros avanzarían indefinidamente con movimiento uniforme en línea recta, de cualquier manera, como ya se ha anticipado, esta noción no daría la explicación última del movimiento planetario. Pues si bien Newton ya había establecido cuál era la fuerza externa que desviaba a los planetas de sus trayectorias rectilíneas, quedaba por establecer qué era lo que hacía que los planetas se mantuvieran en una trayectoria rectilínea, en el caso de que estas fuerzas externas estuvieran

¹⁹⁶ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Df. 4, p. 28. (Las cursivas son mías.)

¹⁹⁷ Este nombre de 'fuerza centrípeta' aparece por primera vez en el *De Motu*, aunque es hasta los *Principia* donde da una explicación más puntual de ella. Cfr. Rioja y Ordóñez, *op.cit.* p. 197.

¹⁹⁸ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Df. 5, p. 29. (Las cursivas son mías.)

ausentes. La explicación de esto la encontró Newton en la *fuerza insita* o *fuerza inercial* (*vis insita* o *vis inertiae*).

La *fuerza insita* de la materia es un poder de resistencia de todos los cuerpos, en cuya virtud perseveran cuanto está en ellos para mantenerse en su estado actual, ya sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta.

Esta fuerza es siempre proporcional a su cuerpo, y sólo difiere de la inactividad de la masa por el modo de concebirla. Debido a la inercia de la materia, un cuerpo no abandona sin dificultad su estado de movimiento o de reposo. Por lo cual esta *vis insita* puede llamarse muy significativamente *vis inertiae*, fuerza de inactividad. Pero un cuerpo sólo ejerce esa fuerza cuando otra fuerza en él trata de alterar su estado, y el ejercicio de esa fuerza puede considerarse como resistencia y como impetu. Es resistencia en tanto en cuanto el cuerpo se opone a la fuerza impresa para mantener su estado actual. Es impetu en tanto en cuanto el cuerpo, sin ceder fácilmente a la fuerza impresa de otro, se esfuerza por cambiar el estado de ese otro.¹⁹⁹

La concepción de esta *fuerza inercia*²⁰⁰ o *insita* es una de las piezas más importantes para la formulación de la 'gravitación universal' -y de la física en general-. Esta concepción coincide con el principio de inercia cartesiano que Newton aceptaba en su versión original. Pero Newton le añade una característica que con Descartes no tenía, a saber, que esta fuerza varía directamente con la masa del cuerpo -o dicho en términos newtonianos, su *cantidad de materia* (*inercial*). De ahí que Newton afirme en el texto recién citado que "Esta fuerza es siempre proporcional a su cuerpo".²⁰¹

¹⁹⁹ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, op.cit., Df. 3, p. 28. (Las cursivas son mías.)

²⁰⁰ En realidad cabe considerar la 'fuerza inercial' como en el fondo lo mismo que la 'fuerza centrífuga', esto es, una fuerza ficticia que da la impresión de ser auténtica y real porque quien observa el movimiento no es un observador inercial. La diferencia entre estas dos es que la centrífuga no está definida por la masa mientras que la inercial sí.

²⁰¹ Descartes también había hablado de que los cuerpos presentan una 'resistencia' a cambiar su estado (o modo) de reposo o movimiento y que esta resistencia se podía determinar en función del tamaño y del volumen de los cuerpos. Sin embargo, Descartes nunca aceptó explícitamente la existencia de fuerzas insitas en la materia, y atribuía la resistencia de los cuerpos a cambiar su estado (o modo) a la velocidad que éstos llevaran en el momento de su colisión con otros. Cfr. *Principios de la Filosofía*, 2:43 y 2:49.

3.2.2.2 La materia

Con la introducción de la noción de *fuerza inercial*, la noción de *masa* o cantidad de materia se admite como una propiedad fundamental de los cuerpos. A partir de ella se puede medir la cantidad de movimiento de un cuerpo (en el sentido moderno de 'cantidad de movimiento'), algo que con la extensión cartesiana no se podía hacer cabalmente.²⁰² Además, este concepto de cantidad de materia entra de manera fundamental en la fórmula o fórmulas de la "gravitación universal", que permiten determinar la magnitud de la fuerza con la cual los cuerpos son atraídos entre sí. Estos cálculos son esenciales dentro del sistema newtoniano para entender por qué el mundo presenta la forma que tiene. (A la idea de la 'atracción' volveré en el siguiente apartado).

Newton no es muy explícito en los *Principia* acerca de la concepción filosófica de la noción de materia que tiene en mente cuando habla de 'cantidad de materia'. Pero lo que Newton dice y da a entender es suficiente para comprender que se trata de una noción muy diferente a la cartesiana. La definición de 'cantidad de materia' es la siguiente:

La cantidad de materia es la medida de la misma, surgida de su densidad y magnitud conjuntamente.²⁰³

La definición ya sugiere que la noción de materia, que se toma como primitiva, no es en absoluto cartesiana, pues parece que la densidad se toma a su vez como una propiedad primitiva de la materia. Pero esto queda confirmado en las

²⁰² La cantidad de movimiento, o *ímpetu* como la llamó Newton, se define como el vector que es el producto de la masa del cuerpo por el vector velocidad. Por esta definición se ve que la cantidad de movimiento es en dos características similar a la velocidad, pues tiene la misma dirección y el mismo sentido. En lo que difiere es en la magnitud.

aclaraciones del propio Newton, que hacen ver que la materia, al igual que en el *De Gravitatione*, se concibe como algo que ocupa el espacio de maneras más o menos comprimidas (siendo posible el vacío entre los intersticios dejados por la expansión), y que no se identifica con la extensión:

El aire de densidad doble, en un espacio doble igualmente, es cuádruple en cantidad, y séxtuple en un espacio triple. Lo mismo debe entenderse de la nieve y del polvo condensados por compresión o licuefacción, y de todos los cuerpos que por cualesquiera causas se condensan diversamente. No me ocupo aquí para nada de un medio -si existiera cosa tal- que llene libremente los intersticios de las partes.²⁰⁴

Por lo demás, la noción de materia que Newton tiene en la época de redacción de los *Principia* comparte con la noción cartesiana la característica de la homogeneidad, como cabía esperar. Esto queda especialmente claro en un pasaje del texto no publicado en vida de Newton conocido como 'Conclusio' ("Conclusión" –a los *Principia*):

La materia de todas las cosas es una y la misma, que es transmutada en formas innumerables por las operaciones de la naturaleza.²⁰⁵

3.2.2.3 Las leyes del movimiento

Una vez establecido que todo cuerpo tiende a conservar su estado de reposo o de movimiento uniformemente rectilíneo en el que se halla debido a su masa, Newton tiene finalmente todos los elementos necesarios para explicar el

²⁰³ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, *op.cit.*, Df. 1, p. 27.

²⁰⁴ *Ibid.*, Df. 1, p. 27

²⁰⁵ *Conclusio*, en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*, *op.cit.* p. 341. Este manuscrito parece que debía haber formado parte de la primera edición de los *Principia* pero por razones no claramente determinadas, no fue publicado entonces.

mundo esencialmente de la misma manera en que se sigue explicando en nuestros días. A partir de las nociones de *fuerza impresa* y *masa inercial* Newton formulará sus tres axiomas o leyes del movimiento que servirán para explicar no sólo la *dinámica* celeste sino lo que hoy se conoce como la ley de la Gravitación Universal.

La primera de estas leyes es la siguiente:

Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas.²⁰⁶

Newton da algunos ejemplos para justificar que esta ley no es violada en el mundo real:

Una peonza, cuyas partes se ven continuamente apartadas de movimientos rectilíneos por su cohesión, no cesaría de girar si no fuese por el aire. Los cuerpos mayores de los planetas y los cometas, que encuentran menos resistencia en los espacios libres, preservan durante mucho tiempo más sus movimientos progresivos y curvos.²⁰⁷

La segunda ley dice:

El cambio de movimiento [i.e., la aceleración, i.e., el cambio de velocidad en un intervalo de tiempo] es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza.

Si una fuerza cualquiera genera un movimiento, una fuerza doble generará el doble de movimiento, una triple el triple, tanto si la fuerza es impresa entera y a la vez como si lo es gradual y sucesivamente. Y cuando el cuerpo se movía antes, este movimiento ('dirigido' siempre siguiendo a la fuerza generadora) se añade, se resta o se une oblicuamente al movimiento anterior, según coadyuve, se oponga o se vincule oblicuamente a él, componiendo así un nuevo movimiento formado por la determinación de ambos.²⁰⁸

²⁰⁶ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, op.cit., 1er Axioma (o Ley) del Movimiento, p. 41.

²⁰⁷ *Ibid*, p.41.

²⁰⁸ *Op.cit.*, 2do Axioma (o Ley) del Movimiento, pp. 41-42.

Esta formulación de la segunda ley se entiende como tácitamente relativizada a un cuerpo de masa fija. En formulaciones actuales de la ley, la dependencia variable de la aceleración con respecto a la masa se hace constar explícitamente, en una enunciación similar a la siguiente: *La aceleración que un cuerpo adquiere es directamente proporcional a la fuerza que se le aplique –y tiene lugar en la misma línea recta de aplicación- e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.* Por medio de esta ley se explica cómo un cuerpo, v.g. el Sol, ejerce sobre otro, v.g. un planeta, el efecto de aceleración sobre su movimiento. Éste se debe a la fuerza de atracción que el Sol imprime al planeta.

La tercera ley del movimiento es la siguiente:

Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.²⁰⁹

Dicho en otras palabras, la fuerza (de acción) que un cuerpo ejerce sobre un segundo cuerpo es igual en magnitud pero opuesta en dirección a la fuerza (de reacción) que el segundo cuerpo ejerce en el primero. Según esto, la fuerza que ejerce el Sol sobre un planeta es igual a la fuerza que ejerce el planeta sobre el propio Sol, pero en sentido contrario. Hay una relación simétrica entre las fuerzas de atracción del Sol y del planeta en cuestión. Ahora bien, el ejemplo que Newton menciona en primer lugar es de dos cuerpos que se imprimen recíprocamente fuerzas por medio del choque:

Si un cuerpo tropieza con otro y, debido a su fuerza, cambia el movimiento de éste, él también (debido a la igualdad de la presión mutua) sufrirá un cambio igual en su propio movimiento hacia la parte contraria. Los cambios no son iguales

²⁰⁹ *Ibid.*, 3er Axioma (o Ley) del Movimiento, p. 42.

en las velocidades, pero sí en los movimientos de los cuerpos, siempre que no se vean estorbados por ningún otro impedimento. Pues como los movimientos han cambiado igualmente, los cambios de las velocidades hechos hacia partes contrarias son inversamente proporcionales a los cuerpos. Esta ley tiene lugar también en las *atracciones*.²¹⁰

En el Escolio a los Axiomas del Movimiento, Newton ofrece un razonamiento destinado a justificar la tercera ley en el caso de las acciones recíprocas por atracción. En este razonamiento usa la idea de que si un cuerpo A fuera más atraído hacia otro cuerpo B que B hacia A entonces habría una violación de la primera ley del movimiento:

En las atracciones demuestro [la tercera ley] del modo siguiente. Supongamos que se interpone un obstáculo para evitar el encuentro de dos cuerpos cualesquiera A y B que se atraen mutuamente. En ese caso, si uno de los cuerpos, digamos A, es más atraído hacia el otro cuerpo, B, de lo que lo es ese otro cuerpo hacia A, el obstáculo se verá afectado más fuertemente por la presión del cuerpo A que por la presión del cuerpo B, por lo cual no permanecerá en equilibrio, sino que prevalecerá la presión más fuerte, haciendo que el sistema de los dos cuerpos y el obstáculo se mueva directamente hacia las partes ocupadas por B, y que en espacios libres progrese indefinidamente con un movimiento continuamente acelerado, cosa absurda y contraria a la Ley I. Porque según esa ley el sistema debe continuar en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme y, por tanto, los cuerpos deben presionar igualmente el obstáculo y ser igualmente atraídos el uno por el otro.²¹¹

La explicación newtoniana no termina ahí. Si el planeta atrae al Sol con la misma intensidad que el Sol atrae al planeta, ¿por qué no cae el Sol hacia el planeta?, ¿por qué no se percibe ese 'tirón' del Sol hacia el planeta? La respuesta de Newton es que en realidad el Sol sí cae hacia el planeta, pero siendo tan masivo como es, apenas si se desplaza (en proporción) debido a su inercia, en tanto que el planeta siendo más ligero se mueve más. Llega un punto en que la atracción del Sol hacia el planeta es compensada por la fuerza inercial del planeta

²¹⁰ *Ibid.*, p. 42

²¹¹ *Op.cit.*, Escolio a los Axiomas o Leyes del Movimiento, p. 54.

(que tiende a hacerlo moverse en línea recta tangencial) y la atracción del planeta hacia el Sol es compensada por la fuerza inercial del Sol que mantiene a éste en reposo, alcanzándose un equilibrio.²¹²

3.2.2.4 *La gravitación universal*

Hasta aquí se ha hablado de los elementos que explican la dinámica celeste y la 'gravitación universal'. Ahora lo que resta es decir lo que la 'gravitación' en sí era para Newton.

La 'gravitación universal' no se reduce a dar cuenta del movimiento planetario a partir de una fuerza de atracción central y en virtud de la cual las órbitas de los planetas son elípticas, sino que, asimismo, da cuenta de por qué la Luna gira en torno a la Tierra y por qué los objetos terrestres tienen una aceleración hacia el centro de ésta. La 'gravitación' es una propiedad que todos los cuerpos tienen de ejercer sobre otros fuerzas de atracción.

Newton defiende la existencia de la gravitación universal apoyándose, según dice, meramente en "los fenómenos":

...si consta universalmente por experimentos y observaciones astronómicas que todos los cuerpos situados en torno a la Tierra gravitan hacia ella, y esto en proporción a la cantidad de materia por ellos contenida; que del mismo modo la Luna, como todos los planetas los unos respecto de los otros, y que los cometas gravitan hacia el Sol, debemos como consecuencia de esta regla admitir universalmente que todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación mutua. Pues el argumento a partir de los fenómenos demuestra con mucha mayor fuerza la gravitación universal que la impenetrabilidad de los

²¹² De manera análoga sucede con los satélites que circundan los planetas. Pues cada uno de los satélites que gira en torno a un planeta, y el planeta mismo, se atraen con la misma intensidad; así como uno tira del otro, el otro tira del primero hacia su propio centro. Nuevamente, aunque el tirón sea igualmente intenso en ambos sentidos, el efecto no es igual, pues siendo el planeta más grande que el satélite, más inerte, se mueve menos que aquél.

cuerpos, sobre la cual carecemos de experimentos y medios de observación para los cuerpos situados en las regiones celestes.²¹³

Los principios que Newton usa acerca de esta fuerza de gravitación se reducen a lo que hoy se conoce como la 'ley de la gravitación universal'. Aunque ésta no es explícitamente formulada por Newton, "no hay duda", como dice Roberto Torretti, "de que transmite fielmente el sentido de sus palabras, tal como éste es ilustrado por la práctica de Newton".²¹⁴ Un enunciado moderno de la ley es el siguiente: *La fuerza de atracción entre dos cuerpos materiales cualesquiera, o fuerza gravitatoria, es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros.*²¹⁵ De esta ley se puede derivar la demostración matemática del movimiento planetario en elipses, así como las otras leyes de Kepler. Esto en su momento fue uno de los hechos que le dieron mayor credibilidad.²¹⁶

Pero la postulación de la fuerza de gravitación fue también en su momento uno de los aspectos más controvertidos de la teoría de Newton. Como se ha

²¹³ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Regla 3, p. 463.

²¹⁴ *The Philosophy of Physics, op.cit.* pp. 57-58.

²¹⁵ De acuerdo al teorema de los centros de gravedad, se considera que el poder atractivo de un cuerpo completamente esférico y de densidad uniformemente distribuida es equivalente al que tendría si toda su masa se concentrara en el centro.

²¹⁶ Otro de los hechos que le dieron credibilidad inmediata a la ley de la Gravitación Universal fue el cálculo de la forma real de la Tierra cuando se descubrió que la intensidad de la gravedad terrestre era menor en el ecuador que en las zonas más septentrionales. Por otra parte, este cálculo de la forma de la Tierra y el descubrimiento de su *no-esfericidad* condujeron a Newton a poder explicar el origen de la *precesión* de ésta (y de los demás planetas), esto es, de la vibración que estos astros tienen sobre su eje al orbitar alrededor del Sol, como si fueran peonzas. Consecuencia también de la teoría gravitatoria era la explicación de las *mareas oceánicas*, debidas a la acción conjunta del Sol y de la Luna, así como la explicación del movimiento y *aparición de los cometas*. Más tarde, otra de las aportaciones de la 'gravitación' sería la *predicción de la existencia del planeta Urano* a partir de las perturbaciones de los demás planetas conocidos entonces y posteriormente la existencia de *Neptuno* y de *Plutón* debido al mismo factor.

señalado repetidamente en este trabajo, la influyente filosofía cartesiana había descartado el uso de 'cualidades ocultas' de los cuerpos en la explicación de los fenómenos. Para muchos autores de la época, cartesianos y no cartesianos, la postulación de la fuerza de gravitación por Newton equivalía a la reintroducción de una especie de 'cualidad oculta' de los cuerpos.²¹⁷ Ésta fue una de las razones por las que la aceptación de la teoría de Newton fue lenta y no se produjo plenamente, como vimos, hasta más de cincuenta años después de la publicación de la primera edición de los *Principia*.

A pesar de las dificultades, la capacidad del formalismo matemático de Newton para explicar y predecir los fenómenos del movimiento planetario finalmente hizo que la teoría newtoniana se impusiera universalmente, constituyéndose de hecho en un modelo para la explicación científica que subsiste hasta nuestros días. Las palabras de R. Feynman acerca de la influencia de la ley de la gravitación en la física moderna son ilustrativas:

La ciencia moderna pertenece a la misma tradición que la ley de la gravedad. La diferencia es sólo cronológica. Así pues, no lamento en absoluto hablar de la ley de la gravedad, porque al descubrir su historia y sus métodos, el carácter de su descubrimiento, sus características propias, estoy siendo completamente moderno.²¹⁸

²¹⁷ Un análisis detallado de esta cuestión se encuentra en E. McMullin "The explanation of distant action: historical notes" en *Philosophical Consequences of Quantum Theory*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, 1989, pp. 289-302.

²¹⁸ *El Carácter de la Ley Científica*, Tusquets, Barcelona, 2000, p. 12.

3.2.3 El espacio, tiempo y movimiento absolutos

En esta subsección retomaré la noción de espacio con el fin de exponer la manera en que Newton mismo aborda en los *Principia* este tema sobre el que había empezado a reflexionar en el *De Gravitatione*.

En el *De Gravitatione*, Newton establecía la prioridad del espacio sobre la materia al rechazar los planteamientos relativistas de Descartes. Asimismo, se vio que de este modo Newton se declaraba a favor de un realismo espacial. Lo que en los *Principia* se ve es cómo este espacio adquiere características aún más determinantes de independencia respecto de la materia.

En el Escolio a la Definición VIII Newton caracteriza explícitamente el espacio como absoluto, distinguiéndolo del espacio relativo de Descartes. En la concepción newtoniana, hay un marco de referencia privilegiado, con respecto al cual se producen los movimientos “verdaderos” y que se debe distinguir de los marcos impuestos por la convención o la costumbre, como el determinado por la Tierra:

*El espacio absoluto, tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil. El espacio relativo es alguna dimensión o medida móvil del anterior, que nuestros sentidos determinan por su posición con respecto a los cuerpos, y que el vulgo confunde con el espacio inmóvil; de esa índole es la dimensión de un espacio subterráneo, aéreo o celeste, determinada por su posición con respecto a la Tierra. El espacio absoluto y el relativo son idénticos en aspecto y magnitud, pero no siempre permanecen numéricamente idénticos; si la Tierra mueve un espacio de nuestro aire, que relativamente y con respecto a la Tierra permanece siempre idéntico, el aire pasará en cierto momento por una parte del espacio absoluto y en otro momento por otra, con lo cual cambiará continuamente en términos absolutos.*²¹⁹

Para explicar matemáticamente el movimiento, Newton no sólo define el espacio como absoluto sino que de igual manera define el *tiempo*. Newton postula un tiempo uniforme en el que los acontecimientos suceden ininterrumpidamente, pero que transcurriría también incluso si nada aconteciera en él.

El *tiempo absoluto, verdadero y matemático*, en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo *fluye uniformemente*, y se dice con otro nombre duración. El tiempo relativo, aparente y vulgar es alguna medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo; hora, día, mes y año son medidas semejantes.²²⁰

El espacio y el tiempo absolutos configuran un *sistema en absoluto reposo*, i.e., un sistema de coordenadas espacio-temporales donde la 'medida del móvil' y la 'medida de movimiento' se dan con respecto a una referencia invariable, que permite caracterizar unívocamente el estado de un cuerpo sin importar la localización del observador. El espacio y el tiempo absolutos, pues, proporcionaban un marco de referencia único y objetivo a partir del cual se podía definir el *movimiento absoluto y verdadero* de un cuerpo. Con esta noción de movimiento absoluto Newton clarificaba definitivamente sus intuiciones originales del *De Gravitatione* y rechazaba con más fuerza que nunca la concepción cartesiana del movimiento.

El *movimiento absoluto* es la traslación de un cuerpo desde un lugar absoluto a otro, y el movimiento relativo la traslación de un lugar relativo a otro. En un barco a toda vela el lugar relativo de un cuerpo es aquella parte del barco que el cuerpo posee, o aquella parte de la cavidad llenada por el cuerpo y que por eso mismo se mueve junto con el barco. El reposo relativo es la continuidad del cuerpo en el mismo lugar del barco o de su cavidad. *Pero el reposo real, absoluto, es la*

²¹⁹ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Escolio a la Df. 8, p. 33. (Las cursivas son mías.)

²²⁰ *Ibid*, pp. 32-33. (Las cursivas son mías.)

*continuidad del cuerpo en la misma parte de ese espacio inmóvil donde se mueve el barco mismo, su cavidad y todo cuanto contiene. Por lo cual, si la Tierra está realmente en reposo, el cuerpo que reposa relativamente en el barco se moverá real y absolutamente con la misma velocidad que el barco tiene sobre la Tierra. Pero, si la Tierra se mueve también, el movimiento verdadero y absoluto del cuerpo surgirá en parte del movimiento verdadero de la Tierra en el espacio inmóvil, y en parte del movimiento relativo del barco sobre la Tierra; y si el cuerpo se mueve también relativamente en el barco, su verdadero movimiento surgirá en parte del verdadero movimiento de la Tierra en el espacio inmóvil, y en parte de los movimientos relativos tanto del barco sobre la Tierra como del cuerpo sobre el barco; y de esos movimientos relativos surgirá el movimiento relativo del cuerpo sobre la Tierra.*²²¹

Como se ve, el interés de Newton no sólo se dirigía a determinar el movimiento a partir de un punto de referencia considerado inmóvil, sino a *fixar* el estado mecánico de un cuerpo con respecto al marco de referencia privilegiado. Un movimiento sobre la superficie de la Tierra que fuera rectilíneo para un observador vinculado a dicho planeta no sería así descrito por otro observador (inercial) que viera esa trayectoria desde fuera de la Tierra, ya que este segundo observador no participaría del giro de aquélla. Esto implicaba dificultades para el concepto de movimiento absoluto, pues parecía difícil encontrar un método para saber si el cuerpo visto con trayectoria rectilínea en la Tierra se encontraba en estado inercial o si tenía un movimiento acelerado.²²²

²²¹ *Ibid.*, pp. 33-34. (Las cursivas son mías.)

²²² La dificultad sería expresada entre otros por Euler (1707-1783), matemático suizo, gran defensor de las posiciones newtonianas e implacable crítico de los partidarios tanto de Descartes como de Leibniz (quien proponía un espacio relacional). Euler, en una memoria presentada ante la Academia de Berlín, más de veinte años después del fallecimiento de Newton, manifestó explícitamente que si el principio de inercia podía considerarse como una 'verdad indiscutible' bien establecida por la mecánica, entonces no cabía sino admitir la realidad del espacio y tiempo absolutos, proponiendo que el "movimiento rectilíneo" del que se habla en la primera ley de Newton, la de inercia, sólo tendría sentido con respecto a un espacio absoluto. (Cfr. "Reflexiones sobre el espacio y el tiempo", en Euler, *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, Alianza, Madrid, 1985. Véase también Rioja y Ordóñez, *Teorías del Universo II, op.cit.* pp. 244-245.) Sin embargo Newton mismo no estableció que la existencia del espacio absoluto fuera un requisito imprescindible del comportamiento inercial de los cuerpos, como Euler lo extrapolaba. Para Newton la ley de

Newton era consciente de esta dificultad y dio razones para pensar que no constituía una objeción insuperable a su noción de movimiento (y de espacio) absoluto. La principal fue un famoso experimento con un cubo de agua, que Newton describe en el siguiente pasaje:²²³

Los efectos que distinguen el movimiento absoluto del relativo son las fuerzas del alejamiento del eje del movimiento circular. No existen tales fuerzas en un movimiento circular puramente relativo, pero en un movimiento verdadero y absoluto son mayores o menores según la cantidad de movimiento. Si un cubo que cuelga de una cuerda larga es hecho girar hasta el punto de retorcer fuertemente la cuerda luego llenado de agua y mantenido en reposo junto con el agua, inmediatamente -por la acción súbita de otra fuerza- comenzará a girar en dirección opuesta, y mientras la cuerda se desenrosca el cubo mantendrá durante algún tiempo ese movimiento. La superficie del agua será lisa al principio, como antes de que el cubo empezara a moverse, pero a medida que el cubo empiece gradualmente a comunicar al agua su movimiento, ésta comenzará a girar

inercia era compatible con la inexistencia del espacio absoluto. Los argumentos de Newton a favor del espacio (y el movimiento) absolutos eran *dinámicos*, como se explica a continuación en el texto.

²²³ En la misma línea Newton también propuso el siguiente experimento mental, que sugería la posibilidad de distinguir el estado de reposo, i.e inercial, de las estrellas fijas del movimiento circular, i.e., acelerado, de unos globos: "Es realmente difícilísimo descubrir y distinguir de modo efectivo los *movimientos verdaderos* y los aparentes de los cuerpos singulares, *porque las partes del espacio inmóvil donde se realizan esos movimientos no son observables por los sentidos*. Con todo, esta pretensión no es enteramente desesperada; *tenemos algunos indicios a seguir*, en parte de los movimientos aparentes, que son las diferencias de los movimientos verdaderos, y en parte de las fuerzas, *que son las causas y los efectos de los movimientos verdaderos*. Por ejemplo, si dos globos mantenidos a una distancia dada mediante un hilo que los conecta fuesen hechos girar alrededor de su centro común de gravedad, podríamos descubrir -mediante la tensión del hilo- el esfuerzo de los globos por alejarse de su eje de movimiento, y a partir de ello calcular la cantidad de sus movimientos circulares. Y si fuerzas iguales se imprimieran simultáneamente sobre las caras alternas de los globos para aumentar o disminuir sus movimientos circulares, por el incremento o reducción de la tensión del hilo podríamos inferir el incremento o reducción de sus movimientos (...) *De ese modo, podríamos descubrir tanto la cantidad como la determinación de ese movimiento circular, incluso en una inmensidad vacía donde no hubiese nada externo y sensible con lo cual comparar a los globos*. Pero si en ese espacio estuviesen situados cuerpos remotos que mantuvieran siempre una posición dada entre sí, como sucede con las estrellas fijas en nuestras regiones, y no pudiéramos determinar por la traslación relativa de los globos entre esos cuerpos si el movimiento pertenece a los globos o a los cuerpos. *Pero si observásemos el hilo, y si descubriésemos que su tensión era exactamente la requerida por el movimiento de los globos, podríamos inferir que el movimiento está en los globos, y que los cuerpos están en reposo*". (*Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Escolio a la Df. 8, pp. 38-39 (Las cursivas son mías.))

visiblemente, a alejarse poco a poco del centro y a ascender por las paredes del cubo formando una figura cóncava (como he observado yo mismo), y cuanto más rápido se haga el movimiento más subirá el agua hasta que al final, realizando sus revoluciones en sincronía con el cubo, pasará a estar en reposo relativo con respecto de él.²²⁴

El razonamiento de Newton por el que según él este experimento sugiere la existencia del movimiento absoluto es el siguiente:

Este ascenso del agua muestra su esfuerzo por alejarse del eje de su movimiento, y el movimiento circular verdadero y absoluto del agua, que aquí es de dirección contraria al relativo, se hace conocido y puede ser medido mediante ese esfuerzo. Al principio, cuando era máximo el movimiento relativo del agua en el cubo, no producía esfuerzo por alejarse del eje; el agua no mostraba tendencia hacia la circunferencia, ni ascenso alguno por las paredes del cubo, sino que permanecía lisa y, en consecuencia, no se había iniciado aún su verdadero movimiento circular. Pero después, una vez decrecido el movimiento relativo del agua, su ascensión por las paredes del cubo probó su esfuerzo por alejarse del eje; y este esfuerzo mostraba el verdadero movimiento circular del agua, en incesante crecimiento hasta haber adquirido su máximo cuando reposaba relativamente en el cubo. Por consiguiente, este esfuerzo no depende de ninguna traslación del agua con respecto a los cuerpos circundantes, ni puede definirse mediante esa traslación el verdadero movimiento circular. Sólo hay un verdadero movimiento circular de cualquier cuerpo que gire sobre sí mismo, que corresponde a un único esfuerzo o conato por alejarse de su eje de movimiento como su propio y adecuado efecto; pero los movimientos relativos de un mismo cuerpo son innumerables, de acuerdo con las diversas relaciones que guarde con cuerpos externos, y esas relaciones carecen de efecto real alguno salvo que participen de ese único y verdadero movimiento circular.²²⁵

Después de retorcer la cuerda y llenar el cubo de agua, el agua está en reposo con respecto al cubo. Cuando la cuerda empieza a desenroscarse, el cubo se pone en movimiento, pero el agua permanece en reposo. Así, el agua está en movimiento con respecto a las paredes del cubo. Luego el agua empieza a moverse en círculo, va aminorando su velocidad con respecto a las paredes del cubo. Finalmente el agua adquiere la velocidad del cubo, y llega al reposo relativo

²²⁴ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Escolio a la Df. 8, p. 37.

²²⁵ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.*, Escolio a la Df. 8, pp. 37-38.

con respecto a las paredes de éste. Según Newton, el experimento muestra que en un cierto momento el agua exhibe una fuerza (o esfuerzo), comunicada a ella por el cubo, que es la prueba de que se halla en movimiento verdadero. Esto es así incluso si el agua está (al final) en reposo relativo con respecto al cubo.

Comentemos un poco la idea que subyace a este experimento mental. Newton aceptaba que el movimiento rectilíneo uniforme y el reposo son estados equivalentes en términos mecánicos y, por tanto, en sí mismos indiscernibles.²²⁶ De ahí que no cabe plantear ningún tipo de prueba o experimento que permita decidir dentro del sistema si éste permanece inmóvil o si avanza por el espacio en línea recta. Al no haber procedimientos empíricos que permitan distinguir el movimiento inercial del reposo, se está condenado, por principio, a no saber si el estado inercial en el que nos encontramos es un estado relativo (i.e., debido a un mero cambio de lugar en relación a cuerpos de referencia arbitrariamente elegidos) o un estado absoluto (i.e., debido al paso de un lugar absoluto a otro lugar absoluto). Pero la manera en que para Newton se podía constatar que efectivamente (o verdaderamente, en sus términos) un cuerpo se movía, era por la acción de una *fuerza impresa*.

*Las causas mediante las cuales se distinguen los movimientos relativos de los verdaderos son las fuerzas impresas en los cuerpos para generar el movimiento.*²²⁷

²²⁶ Esto es lo que se conoce como el 'principio de relatividad galileano' y es el mismo en el cual Galileo basó su defensa de la posibilidad del movimiento de la Tierra, a pesar de que nosotros sus habitantes no lo percibamos.

²²⁷ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, op.cit.,* Escolio a la Df. 8, p. 36. (Las cursivas son mías.)

Resulta así que, cuando se trata de *movimientos acelerados* y no de estados inerciales, es posible plantear una *distinción dinámica* entre movimiento relativo y movimiento verdadero. Es importante enfatizar que siempre es necesario para Newton recurrir a la noción de *fuerza impresa* para hablar de dichos movimientos verdaderos (y absolutos). Nunca el cambio de posición o de distancia de un cuerpo respecto a otro será el criterio para determinar estados absolutos. Pues puede darse cambio de posición sin que se dé movimiento aparentemente y al contrario.

*El movimiento verdadero no es generado ni alterado sino por una fuerza impresa en el mismo cuerpo movido, pero el movimiento relativo puede ser generado o alterado sin fuerza alguna impresa en el cuerpo. Basta imprimir alguna fuerza en otros cuerpos con los cuales se compara para que, cediendo ellos, pueda cambiarse la relación en que consistía el movimiento o reposo de ese otro cuerpo. Por su parte, el movimiento verdadero padece siempre algún cambio debido a cualquier fuerza impresa en el cuerpo que se mueve, pero el movimiento relativo no sufre necesariamente ningún cambio debido a tales fuerzas.*²²⁸

Recuérdese que ya en el *De Gravitatione* Newton criticaba a Descartes sosteniendo que de la teoría de éste se seguía que un cuerpo podría pasar del reposo al movimiento sin que ninguna fuerza operara sobre él.²²⁹ Ahora Newton, décadas después, usa de nuevo el criterio dinámico implícito en esa crítica del *De Gravitatione* para determinar si se da un movimiento o no, convirtiéndolo en un criterio básico para sus nociones de espacio y movimiento absolutos.

²²⁸ *Ibid*, pp. 36-37. (Las cursivas son mías.)

²²⁹ El texto newtoniano era: "...si Dios de pronto detuviera el giro de nuestro vórtice, sin aplicar ninguna fuerza a la Tierra que la detuviera al mismo tiempo, Descartes diría que la Tierra se mueve en un sentido filosófico (dada su traslación con respecto a la vecindad del fluido contiguo), mientras que antes decía que estaba en reposo, en el mismo sentido filosófico". (*De Gravitatione, op.cit.* p. 127.)

En el caso del cubo, la existencia de una fuerza impresa al agua nos lleva a pensar que ésta adquiere un movimiento acelerado. Pero si es así, entonces este movimiento ha de ser real, verdadero (o sea, ha de darse con respecto al espacio absoluto). Esto es así aunque en el momento de máxima aceleración el agua se halle en reposo relativo con respecto al cubo (que sería, por cierto, el marco de referencia cartesiano para determinar si el agua se halla en movimiento).

¿Es convincente el criterio dinámico de Newton como base para establecer la existencia de movimientos absolutos, como ocurre supuestamente en el caso del agua del cubo? El criterio no fue convincente para un buen número de autores contemporáneos y posteriores. Entre los contemporáneos, el principal de los críticos fue Leibniz. Entre los posteriores, uno de los principales, antes de la crítica definitiva de Einstein, fue Mach (1838-1916). Un problema clave del criterio es *cómo deducir la no existencia de una fuerza que opere sobre un cuerpo a partir de la existencia de un reposo, sin suponer ya de antemano que este reposo es "verdadero"*. (Si esto se supone, entonces cometeremos una petición de principio, ya que la existencia de reposo (absoluto o "verdadero") es lo que se quiere justificar por medio de la no existencia de la fuerza.) En el caso del cubo, si los que hacemos el experimento proponemos que no hay una fuerza que opera sobre el agua al principio, cuando ésta no se mueve con respecto a nosotros, ¿cuál es nuestra justificación para no pensar, por el contrario, que la fuerza sí existe, pero que no se manifiesta en un movimiento centrífugo? Podría ser el caso que el agua en ese estadio inicial esté en movimiento acelerado junto con los que la observamos, pero no habría manera de determinarlo. Quizá luego, cuando vemos el agua rotar con respecto a nosotros, lo que ocurre es que ha entrado en un

movimiento acelerado con respecto a nuestro propio movimiento acelerado (o el de la Tierra, o el del punto de referencia con respecto al cual hagamos nuestro experimento), lo cual sí le hace exhibir movimiento centrífugo. Mach sintetizó algunas de estas preocupaciones así:

El experimento de Newton con el cubo de agua en rotación sólo nos enseña que la rotación del agua relativa a *las paredes del cubo* no provoca fuerzas centrífugas perceptibles; éstas son provocadas, sin embargo, por su rotación con respecto a la masa de la tierra y de los otros cuerpos celestes. Nadie puede decir qué resultado daría el experimento, tanto cuantitativa como cualitativamente, si las paredes del cubo se hicieran más y más gruesas y masivas -finalmente de un grosor de varias millas.²³⁰

Para Mach, como señala Torretti,²³¹ lo único que tenía sentido en física era referir los movimientos a un sistema de referencia dado por muchos y grandes cuerpos masivos, como el Sol o, preferentemente, las estrellas "fijas".

Las dificultades vislumbradas por Newton y subrayadas por Leibniz y Mach, entre otros, eran realmente muy problemáticas y nunca dejaron de sugerir a varios autores críticos del newtonianismo que las nociones de espacio, tiempo y movimiento absolutos no tenían una base física o fenoménica. Una confirmación plena de estas dudas llegaría con la teoría especial de la relatividad de Einstein.

²³⁰ "Newton's experiment with the rotating water bucket teaches us only that the rotation of the water relative to the *bucket walls* does not stir any noticeable centrifugal forces; these are prompted, however, by its rotation relative to the mass of the earth and the other celestial bodies. Nobody can say how the experiment would turn out, both quantitatively and qualitatively, if the bucket walls became increasingly thicker and more massive – eventually several miles thick. Cfr. E. Mach, en *Die Mechanik* (1883), citado por R. Torretti, *The Philosophy of Physics*, *op.cit.* p. 241. (La traducción del inglés al español es mía.)

²³¹ Cfr. *Ibid*, p. 241.

CONCLUSIONES

Los capítulos anteriores han mostrado que tanto la filosofía natural cartesiana como la newtoniana presentaban problemas serios que hacían muy difícil en los siglos XVII y XVIII llegar a una conclusión definitiva sobre cuál de ellas era la más apropiada (o la menos inapropiada). Naturalmente, es cierto que la física newtoniana acabó imponiéndose debido a su mayor capacidad para predecir los fenómenos, fundamentalmente los del movimiento de los cuerpos celestes. Pero ciertos aspectos de esa física siempre fueron vistos con recelo por algunos autores y precisamente en algunos casos en los que las críticas a Newton finalmente se aceptarían (como en el caso del rechazo contemporáneo del espacio absoluto) la física volvería a utilizar propuestas en esencia cartesianas.

En estas "Conclusiones" haré una recapitulación de algunos de los aspectos principales en los que las teorías cartesianas se oponían a las newtonianas, poniendo énfasis especial en aquellos donde la crítica newtoniana al cartesianismo no fue definitiva.

Aun con todos los problemas que la concepción cartesiana del movimiento presentaba en su tiempo, las ideas cartesianas fundamentales sobre este asunto han resistido las críticas newtonianas. Descartes proponía que para atribuir una posición a un cuerpo o una distancia recorrida a un cuerpo en un movimiento, es necesario usar como referencia un sistema material, esto es, un punto de referencia observable tomado como en reposo. Newton también aceptaba esta idea, claro está, pero proponía además que existía un cierto sistema referencial privilegiado con respecto al cual se daban posiciones, tiempos y movimientos

absolutos. Descartes no consideraba que pudiera existir tal sistema privilegiado, y en eso es muy moderno.

Bien es cierto que Descartes dice que el movimiento verdadero de un cuerpo se da con respecto a los cuerpos circundantes. Pero esta tesis es compatible con la tesis de que no hay sistema de referencia universal privilegiado. Sólo sería incompatible si "verdadero" significara "relativo al sistema universal privilegiado". Pero "verdadero" no significa esto en Descartes. Quizá quepa entender el uso que Descartes hace de "verdadero" como un uso estipulado: "verdadero" es simplemente el movimiento de un cuerpo que se da relativo a los cuerpos circundantes; este uso no reflejaría más que una convención acerca de la palabra "verdadero".²³² Independientemente de si ésta fue la idea de Descartes, es interesante notar que esta convención es también aproximadamente la seguida a menudo en nuestro tiempo. Al margen del postulado relativista de Einstein, cuando se hace cualquier medición astronómica, v.g. del estallido de una supernova, dicha supernova se considera en movimiento y las demás estrellas circundantes y nuestro planeta se consideran en reposo.

En el caso de la concepción cartesiana de la materia, si se deja de lado la forma particular que el plenismo adopta en Descartes y su tesis de que la propiedad esencial de la materia es la extensión, cabe pensar que algunas de las intuiciones cartesianas perviven hoy en día. Es el caso de sus intuiciones acerca de la expansión y los estados de agregación de los cuerpos. Hoy en día los tres

²³² No es enteramente claro en qué medida Descartes propuso su noción de movimiento verdadero por razones estrictamente filosóficas. Recordemos que esa noción era muy útil desde un punto de vista religioso, pues implicaba que la Tierra estaba en "reposo verdadero".

estados básicos de la materia se explican por la menor o mayor energía cinética de las partículas, una explicación muy cartesiana.²³³

En el caso de la cuestión del plenismo, aun sin tomar en cuenta la concepción cartesiana particular de esta doctrina, no queda muy claro que la idea de la inexistencia del vacío sea del todo una concepción errónea. En nuestros días, y debido fundamentalmente a la ecuación entre materia y energía, los físicos teóricos cada vez están más convencidos de que no existe un vacío absoluto. El espacio exterior, además de contener un gran número de partículas inimaginables en la época de Descartes y Newton, está surcado por campos de fuerza electromagnéticos, gravitatorios, etc. que lo permean. A este respecto, el siguiente párrafo de los físicos rusos Vasiliev y Staniukovich es sugerente:

Por ahora no sabemos si en el Universo hay regiones donde no haya Galaxias. El Cosmos no es homogéneo. Hacia un lado (si se permite simplificar de este modo el problema) los observadores cuentan con mayor cantidad de Galaxias, hacia el otro, con menor. Pero se puede afirmar con plena convicción que nunca se podrán hallar regiones en el Universo donde no haya materia. Semejantes regiones no existen. Ya que el espacio es sólo una forma de existencia de la materia. El espacio existe sólo con relación a la materia. Sin la materia no puede existir el espacio. Pero la materia es multiforme. Bien es sustancia: sólida, líquida, gaseosa o en forma de plasma. Bien es el campo electromagnético, gravitacional, nuclear. Bien son rayos cósmicos que pueden ser considerados simultáneamente tanto campo como sustancia. Todavía no sabemos muchos secretos de la materia, como la transformación mutua de sus distintas formas.²³⁴

Las mayores contribuciones de Newton a la física moderna no hay que buscarlas, pues, en las partes de su obra en las que se opone radicalmente a la

²³³ Es cierto que actualmente se sabe que los estados de agregación de la materia no se deben sólo al mayor o menor movimiento de las partículas de un cuerpo, sino que se necesitan asimismo otros elementos como las *fuerzas de cohesión*. Sin embargo, es importante resaltar que el que los estados de la materia se explican por el mayor o menor movimiento de las partículas en principio es una intuición correcta.

concepción cartesiana del espacio y el movimiento relativos y de la ausencia de un vacío no material. Dos de las principales de esas contribuciones son, sin embargo, también anticartesianas: el haber dado una medida vectorial de la velocidad y la cantidad de movimiento y el haber propuesto que la materia no es del todo inerte.

El haber definido la cantidad de movimiento como una magnitud vectorial fue crucial porque permitió una matematización de la dirección de la fuerza que ha sido aplicada a un cuerpo y de los cálculos para determinar la trayectoria en la que se desplaza. Esto fue lo que permitió a Newton deducir, entre otras cosas, que la trayectoria de los planetas debía ser elíptica (si se suponía que sobre ellos se ejercía una fuerza con dirección central).

La resuelta aceptación por Newton de *fuerzas intrínsecas* también fue una de sus grandes contribuciones. Aunque Newton mismo, en un momento dado, no se decidía sobre si existía sólo un par de fuerzas (de atracción y repulsión) que explicaban todos los fenómenos, o bien varias (como el magnetismo, la electricidad, la gravedad (posteriormente la gravitación), etc.), el hecho es que hoy nuestras mejores teorías aceptan que existen la mayor parte de las que él propuso (aunque también se han añadido algunas más como lo son las fuerzas nucleares). En este ámbito, la física moderna ha sido profundamente newtoniana y anticartesiana.

En el caso de la fuerza gravitatoria, quizá sea ésta una de las nociones que con más fuerza se han asentado en las teorías físicas, venciendo todas las objeciones y preocupaciones de los cartesianos. Desde un punto de vista

²³⁴ M. Vasiliev y K. Staniukovich, *El cosmos y sus siete estados*, Paz, Moscú, sin fecha, p. 25.

experimental, nunca se ha observado, en parte alguna del Universo, evidencia que siquiera remotamente haga sospechar que la atracción gravitatoria no se dé. Los físicos siguen pensando lo mismo que Feynman escribió hace cuarenta años:

Hemos llegado a una décima, quizás una centésima, parte del tamaño del universo, la distancia para la cual tenemos pruebas directas del alcance de la fuerza gravitatoria. Así pues, la gravedad de la Tierra no tiene límite, aunque a veces leamos en los periódicos que algún objeto ha escapado del campo gravitatorio terrestre. Éste se va debilitando en proporción inversa al cuadrado de la distancia, lo que quiere decir que se divide por cuatro cada vez que multiplicamos la distancia por dos, hasta perderse en la confusión de los fuertes campos de las estrellas. Junto con la de las estrellas cercanas, la gravedad terrestre tira de las otras estrellas para formar nuestra galaxia, y todas ellas tiran de otras galaxias para dar lugar a un cúmulo de galaxias. Así pues, el campo gravitatorio de la Tierra nunca se acaba, sino que va difuminándose lentamente según una ley precisa, probablemente hasta el límite del universo.²³⁵

Por otro lado, como hemos venido viendo, las nociones newtonianas de espacio, tiempo y movimiento absolutos, lejos de ofrecer contribuciones definitivas a la física moderna, son más bien limitantes del sistema newtoniano. Si bien es cierto que el espacio y el tiempo absolutos, en su época y todavía dos siglos después, se presentaban como el ámbito 'intuitivo' donde se podía concebir el desplazamiento de los cuerpos, ya desde el origen de su concepción presentaban ciertas dificultades que nunca llegaron a superarse y que finalmente llevarían a su rechazo en la física del siglo XX.

Aun cuando las nociones newtonianas de espacio y tiempo se sostuvieron matemáticamente, i.e., como entidades teóricas necesarias para dar sentido a una estructura operativa a partir de la cual se pudiera lograr la certeza en la medición de los fenómenos y diferenciar si un cuerpo se encontraba en un estado inercial o en uno acelerado, postular el espacio y el tiempo como absolutos era postular un

sistema de referencia al cual no se puede acceder experimentalmente.²³⁶ Tanto el espacio absoluto como el tiempo absoluto están fuera de nuestras operaciones de observación y medida. No hay manera de determinar una posición o una distancia que no se base al menos en la existencia de dos cuerpos, uno de los cuales ha de ser considerado inmóvil y tomado como punto de referencia a partir del cual conocer la ubicación del otro.²³⁷ Resulta imposible fijar la posición de un cuerpo en un espacio absoluto, ya que éste no representa un sistema de coordenadas observable del que se pueda hacer uso para determinar la ubicación de un cuerpo.

Lo mismo sucede con el tiempo, ya que éste, aun en nuestra época, se mide a partir de un tipo de movimiento arbitrariamente elegido, como lo es el movimiento de los astros. Pero lo que sucede entonces es que el tiempo termina siendo medido a partir de un movimiento, cuando lo que Newton necesitaba era lo contrario, esto es, medir el movimiento a partir de un parámetro objetivo.

²³⁵ R. Feynman, *El Carácter de la Ley Científica*, Tusquets, Barcelona, 2000, p. 30.

²³⁶ Para la teoría general de la Relatividad existe una equivalencia entre inercia y aceleración. Una persona que se moviera a velocidad uniforme por el 'vacío' del espacio no experimentaría ninguna resistencia sino que podría seguir siempre así y sólo en el momento que tratara de acelerar es cuando sentiría una fuerte oposición debido a la inercia, esto es, a la resistencia que ofrece un cuerpo a cambiar de posición. De cualquier manera (y aquí es donde surge el problema), pudiera ser que, sin saberlo, la persona estuviera moviéndose aceleradamente al estar sometido a un campo gravitatorio. El problema es, entonces, que si uno se encuentra dentro de un sistema aislado no tiene manera de saber si el estado en que se encuentra es inercial o acelerado. Ahora bien, la razón de que no se pueda distinguir si se está en un estado inercial o uno acelerado a partir de un sistema aislado es que la fuerza de gravedad y las fuerzas inerciales se anulan.

²³⁷ Éste es otro de los argumentos que Mach esgrime contra el espacio newtoniano. Mach observa que según Newton tiene sentido atribuir movimiento a un solo cuerpo prescindiendo de los restantes, de modo que si todos los cuerpos fueran aniquilados excepto uno, se podría hablar del movimiento de ese cuerpo. Pero, ¿qué sentido tendría hablar del movimiento de un solo cuerpo, si no hay nada respecto a lo que se pueda dar ese movimiento?

El recorrido que hemos hecho a través de las filosofías naturales de Descartes y Newton nos ha permitido ver que las profundas diferencias conceptuales y teóricas entre ambas no eran de fácil resolución en la época en que aparecieron, pero tampoco lo fueron por mucho tiempo -en el caso de algunas disputas concretas, la resolución definitiva (o lo que cabe pensar que será la resolución definitiva) no se obtuvo hasta hace relativamente poco. Cada una de esas filosofías tenía aspectos favorables y desfavorables que, en un primer momento ni siquiera bastaban por sí solos para determinar la adopción de una en detrimento de la otra. Posteriormente, la física newtoniana se impuso debido a su mayor adecuación a los fenómenos de la experiencia y a su precisión matemática. Pero ni siquiera este triunfo significó que la física newtoniana superara en todos sus aspectos a la física cartesiana, pues, como también hemos visto en nuestro recorrido, un cierto número de tesis cartesianas y antinewtonianas, despojadas ya del carácter especulativo que tuvieron para Descartes, han renacido en la física contemporánea. Éstas eran las ideas básicas que buscaba defender esta tesis.

Bibliografía citada

Obras fuente

Boyle, R. *La filosofía corpuscular: coincidencia entre la filosofía corpuscular y la cartesiana en Física, Química y Filosofía mecánica*. Edición de Carlos Solís, Alianza, Madrid, 1985.

Descartes, R. *El Mundo o tratado de la luz*. Edición de Laura Benítez, UNAM, México, 1986.

_____ *El Mundo. Tratado de la luz*. Edición de Salvio Turró, Anthropos, Barcelona, 1989.

_____ *Principios de filosofía*, en Descartes y Leibniz, *Sobre los principios de la filosofía*. Edición de E. López y M. Graña, Gredos, Madrid, 1989.

_____ *Los principios de la filosofía*. Edición de Guillermo Quintás, Alianza, Madrid, 1995.

Euler, L. *Reflexiones sobre el espacio y el tiempo en Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*. Edición de Ana Rioja, Alianza, Madrid, 1985.

Fontenelle, B. *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*. Edición de Antonio Beltrán Marí, Editora Nacional, Madrid, 1982.

_____ *Elogio de Sir Isaac Newton en El sistema del mundo*. Edición de Eloy Rada, Alianza Editorial, Madrid, 1983.

Leibniz, W.G. *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*, en Descartes y Leibniz, *Sobre los principios de la filosofía*. Edición de E. López y M. Graña, Gredos, Madrid, 1989.

Newton, I. *Opticks: A Treatise of the Reflections, Refractions and Colours of Light*. Edición de Bernard Cohen, Dover Publications, Nueva York, 1952.

_____ *Atmosfera Solis en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *Conclusio en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *De Aere et Aethere en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *De Gravitatione et Aequipondio fluidorum en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *On Motion in Ellipses en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *Partial Draft of the Preface en Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

_____ *El sistema del mundo*. Edición de Eloy Rada, Alianza, Madrid, 1983.

- _____ *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Edición de Antonio Escohotado, Tecnos, Madrid, 1997.
- Rohault, J. *A System of Natural Philosophy*. Edición de L. Laudan, Johnson Reprint Corporation, Nueva York y Londres, 1969.
- Voltaire *Cartas filosóficas*. Edición de Fernando Savater, Alianza, Madrid, 1988.

Estudios

- Benítez, L. "Clarke y la física de Rohault", *Diánoia*, vol. 43, UNAM, México, 1997.
- Benítez, L. y J. A. Robles *El espacio y el infinito en la modernidad*, Publicaciones Cruz, México, 2000.
- Clarke, D. *La filosofía de la ciencia de Descartes*, Alianza, Madrid, 1986.
- Cottingham, J. *A Descartes Dictionary*, Blackwell, Oxford, 1993.
- _____ *Descartes*, UNAM, México, 1995.
- Feynman, R. *El carácter de la ley científica*, Tusquets, Barcelona, 2000.
- Gjertsen, D. *The Newton Handbook*, Routledge and Kegan Paul, Londres y Nueva York, 1986.
- Grant, E. *Much ado about nothing. Theories of space and vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.
- Kenny, A. *Descartes: a study of his philosophy*, Random House, Nueva York, 1968.

- Koyré, A. *Estudios galileanos*, SXXI, Madrid, 1998.
- Hacyan, S. *Relatividad especial para estudiantes de física*, FCE, México, 1995.
- _____ *Cuando la ciencia nos alcance*, FCE, México, 1998.
- Lynes, J. "Descartes' Theory of Elements: from *Le Monde* to the *Principes*", *Journal of the History of Ideas*, vol. 43, 1982.
- Madanes, L. "Infinitud e ilimitación en René Descartes" en L. Benítez y J. A. Robles (comps.) *El problema del infinito: filosofía y matemáticas*, UNAM, México, 1997.
- Mamiani, M. *Introducción a Newton*, Alianza, Madrid, 1995.
- McMullin, E. "The explanation of distant action: historical notes" en J. T. Cushing y E. McMullin (eds.) *Philosophical Consequences of Quantum Theory*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, 1989.
- Rioja, A. y J. Ordóñez *Teorías del Universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999.
- Robles, J. A. "Espacio, materia y tiempo en cuatro filósofos atomistas. Epicuro (341-270), Tito Lucrecio Caro (98-55), Francesco Patrizi (1529-1597) y Walter Charleton (1620-1707)" en L. Benítez y J. A. Robles (coords.) *Materia, espacio y tiempo: de la filosofía natural a la física*, UNAM, México, 1999.
- _____ "Inteligibilidad y cualidades sensibles: de Descartes a Berkeley o la resurrección de las cualidades secundarias", *Diánoia*, vol. 44, UNAM, México, 1998.
- _____ "Las tesis panteístas de Isaac Newton", *Diánoia*, vol. 46, UNAM, México, 2001.

- Shea, W. *La magia de los números y el movimiento. La carrera científica de Descartes*, Alianza, Madrid, 1993.
- Solís, C. *La revolución de la física en el siglo XVIII*, AKAL, Madrid, 1991.
- Torretti, R. *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Turró, S. *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*, Anthropos, Barcelona, 1985.
- Vasiliev, M. y K. Staniukovich, *El Cosmos y sus siete estados*, Paz, Moscú, sin fecha.
- Viniegra, F. *Una mecánica sin talachas*, FCE, México, 2001.
- Westfall, R. S. "El desenvolvimiento de los *Principia* de Newton" en T. Davies, H. Stuewer y R. Aris (comps.) *Resortes de la creatividad científica. Ensayos sobre fundadores de la ciencia*, FCE, México, 1995.