

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Filosofía y Letras
Instituto de Investigaciones Filosóficas

***Las dinámicas newtoniana y leibniziana: los principios activos en la
materia***

Tesis
que para obtener el grado de Doctora en Filosofía de la Ciencia

Presenta
Beatriz Loría Lagarde

Directora de tesis: Laura Benítez Grobet

Unam, 2008



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.

Para *Fenix* y *Drashá*

Agradezco encarecidamente a todos mis tutores:

A la *Dra. Laura Benítez* por su asesoría no sólo intelectual sino, asimismo, emocional. *Grazie infinite.*

Al *Dr. José Antonio Robles* por sus siempre pertinentes comentarios, y su gratísima (gozosísima) presencia.

A la *Dra. Zuraya Monroy* por su dirección precisa, profesionalismo, y calidez.

Al *Dr. Godfrey Guillaumin* por su invariablemente puntual y certera guía.

Al *Dr. Shahen Hacyan* por su paciencia en asuntos matemáticos, y su apoyo persistente.

Por otra parte, dedico este trabajo a:
Mis pequeños que han
compartido conmigo su estancia en el planeta...
Mil gracias por su compañía...

ÍNDICE

Introducción	4
Comentarios sobre las traducciones	16
PARTE I	
La <i>física</i> del movimiento	
1. Los cimientos para una ontología de la fuerza	18
1.1 Datos preliminares	19
1.1.1 La literatura acerca del mecanicismo	19
1.1.2 La literatura acerca de la matemática	21
1.2 Las tesis que subyacen al mecanicismo cartesiano	23
1.2.1 La homogeneidad de la materia	24
1.2.2 La materia como extensión	27
1.2.2.1 Análisis de la noción matemática cartesiana de las <i>Reglas</i> a los <i>Principios</i>	29
1.2.3 El plenismo	34
1.3 El mecanicismo cartesiano y la concepción de que la materia es ‘inerte’	38
1.3.1 La explicación mecanicista	38
1.3.2 El movimiento mecanicista en el pleno	41
2. La crítica de Newton al mecanicismo de Descartes	45
2.1 La teoría de los vórtices	45
2.2 La relatividad del movimiento	48
2.3 La primacía del mecanicismo cartesiano	55
2.3.1 Las leyes de la naturaleza	57
3. La crítica de Leibniz a la ‘dinámica’ de Descartes	65
3.1 La conservación del momento lineal	65

3.2 Las ‘leyes especiales’ del movimiento	68
4. La ‘medida de la fuerza’	84
4.1 Descartes y la conservación de la cantidad de movimiento	88
4.2 Leibniz y la conservación de la <i>fuerza viva</i>	90
4.3 Newton y el impulso o el cambio en la cantidad de movimiento	92
4.4 La polémica de las <i>fuerzas vivas</i>	96
4.4.1 El sendero de la polémica	96
4.4.2 El desenlace de la polémica	108
PARTE II	
La <i>metafísica</i> del movimiento	
5. El estatus ontológico de la fuerza en el mecanicismo cartesiano	113
5.1 La ‘fuerza’ cartesiana	113
6. La mecánica newtoniana y los ‘principios activos’ en la materia	124
6.1 La ‘fuerza’ newtoniana	124
6.1.1 La relación de la filosofía natural y la teología en la época de Newton	110
6.1.2 ¿Fuerzas inherentes o asociadas a la materia para Newton?	128
6.1.2.1 ¿Fuerzas mecánicas o espirituales para Newton?	143
6.1.2.2 Los ‘principios activos’ y ‘pasivos’ en la materia	152
7. Los fundamentos metafísicos de la fuerza	164
7.1 La literatura acerca de la ‘materia’	165
7.2 La ‘materia leibniziana	168
7.3 La ‘fuerza’ leibniziana	173
7.3.1 Los ‘principios activos’ leibnizianos	180

Conclusiones	194
Apéndice 1: <i>Continuidad y discontinuidad en la historia de la ciencia</i>	203
Apéndice 2: <i>Las reglas de choque de Descartes analizadas a partir del sistema centro de momento de Huygens</i>	223
Apéndice 3: <i>La diferencia entre vis y virtus</i>	229
Apéndice 4: <i>Sinopsis de las nociones de fuerza de Descartes, Newton y Leibniz</i>	239
Bibliografía	245

INTRODUCCIÓN

En el siglo XVII y parte del XVIII prevalecía, en algunos círculos académicos franceses, principalmente, la concepción de que debía recurrirse sólo a causas materiales para explicar lo que acontece en el mundo natural, pues de lo contrario se corría el riesgo de hacer intervenir algún factor 'oculto'. Así, se precisaba de un agente perfectamente inteligible como lo es la presión o el impacto entre cuerpos. En cualquier caso, dar cuenta de los fenómenos únicamente sobre la base de elementos netamente materiales presentaba dificultades tanto para Newton (1642-1727) como para Leibniz (1646-1716). Una de estas dificultades era que si la materia sola bastaba para producir los fenómenos de la naturaleza, ello bien podría implicar que no fuera necesaria la existencia de Dios;¹ pero incluso aceptando Su existencia, se corría el riesgo de parecer postular que la materia (y las leyes que la rigen) fuesen autónomas.² Por otro lado, de acuerdo con estos autores, el mecanicismo de corte cartesiano no era suficiente para explicar cabalmente el movimiento. Tanto Newton como Leibniz pensaban que el cambio de situación de un cuerpo no se reduce a la transmisión de movimiento de uno a otro, tal como lo había establecido Descartes (1596-1650);³ el cambio se debía atribuir a una *fuerza*,

¹ El *Discurso de metafísica* (1686) es uno de los lugares de su obra donde Leibniz aborda el tema de la relación entre la física y la teología. En particular, en el parágrafo 19 hace alusión a los filósofos que al atribuir todo a la necesidad de la materia hacen difícil que se pueda reconocer a un Autor de la Naturaleza. Evidentemente esta alusión es contra Descartes pues el texto en cuestión es una crítica a su *mecanicismo*.

² Esta es una objeción que específicamente Newton presenta contra Descartes en su *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* (h. ¿1664 ó 1680?).

³ Para esta afirmación ver Descartes, los *Principios de la filosofía*, 2:25.

como algo diferente de la magnitud de la extensión y del movimiento mismo.⁴ No sería ésta la única limitación del *mecanicismo cartesiano* en el aspecto físico; por más que fuera intuitivo dar cuenta de muchos eventos de la naturaleza a partir de choques y empujes entre cuerpos (o partículas), existían algunos fenómenos, como la gravedad, el magnetismo o la electricidad, que parecían no agotarse por este tipo de explicación.

Uno de los objetivos del presente trabajo es mostrar cómo, para superar las cuestiones filosófico-teológicas⁵ mencionadas, Newton y Leibniz, *qua* filósofos naturales, concibieron la idea de que la materia debía contener ciertos 'principios de actividad', responsables de varios de los cambios que se perciben en el mundo. Este trabajo tiene por objeto, asimismo, hacer ver que, en todo caso, la explicación de los fenómenos naturales sobre la base de dichos 'principios' era problemática en un inicio: los 'principios activos' de Newton apuntaban hacia la postulación de causas 'ocultas'; los de Leibniz negaban, en última instancia, la materialidad de los cuerpos. En el siglo XIX, sin embargo, los 'principios' de Newton evolucionarían hacia conceptos como el de *campo* electromagnético y gravitacional; los de Leibniz hacia el de *energía*.

Por otro lado, con este trabajo se pretende demostrar que aun cuando las filosofías naturales de Descartes, Newton y Leibniz tenían rasgos metafísicos y teológicos distintos, sus explicaciones convergen en el aspecto físico.

⁴ Para estas afirmaciones ver Newton, *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, y Leibniz, *Discurso de metafísica*, parágrafo 18. En los *Principios de la filosofía* Descartes identifica la 'fuerza' con la magnitud del cuerpo y/o la velocidad de éste. (Ver obra citada, parte dos, parágrafos 40 al 52.)

⁵ En los siglos tratados en este trabajo, el estudio de la naturaleza solía articularse con argumentos de la teología natural. La razón es que en estos argumentos teológicos, los filósofos naturales, encontraban el soporte para sus teorías.

Para sustentar mis propuestas he dividido el trabajo en dos partes: una en la que presento la explicación del *movimiento* en el marco de la física; otra en la que las nociones de *fuerza* de estos autores se ven bajo un enfoque metafísico. La razón que subyace a esta forma de presentación es que, al delimitar estos ámbitos, se pueden ver de manera muy clara los acuerdos y desacuerdos de estos filósofos naturales en torno a estas cuestiones. Por otra parte, permite hacer un seguimiento más riguroso del curso de sus ideas en uno y otro aspecto, que cuando se mezclan ambos.

Así, en la primera parte exploro, las ideas del *mecanicismo* de Descartes, junto con las de movimiento y fuerza en Newton, para arribar a Leibniz y la *controversia de las fuerzas vivas*. En este lugar presento un *análisis sincrónico* de la 'fuerza' para estos filósofos naturales desde la perspectiva de la física actual. Cabe señalar que este tipo de análisis sirve para captar elementos de las conjeturas metafísicas de dichos autores, que podrían pasar inadvertidos en un estudio netamente histórico. Por ejemplo, Newton establecía que para calcular el desplazamiento de un cuerpo, se debe tomar en cuenta el intervalo de tiempo en que se la aplica la fuerza; esto nos conduce a pensar que, en este caso, él se interesaba no sólo en la descripción matemática del movimiento, sino en su *causa* (si bien ésta, como tal, todavía no se hubiera descubierto);⁶ Leibniz también estaba interesado en el tratamiento matemático del movimiento y en su *causa*; pero les daba otro enfoque. Tomando nuevamente el ejemplo del desplazamiento de un cuerpo, Leibniz pondrá el acento en el *resultado* de la fuerza aplicada, i.e. en la distancia recorrida por el cuerpo o su deformación.

⁶ Para estas afirmaciones ver la 'Cuestión 31' de la *Óptica*.

En la segunda parte examino el estatus ontológico de la ‘fuerza’ en los autores tratados, así como los ‘principios activos’ de Newton, y las nociones de *vis viva* y de *mónada* de Leibniz. En este caso, presento un *análisis diacrónico* de estas concepciones; es esencial examinarlas detalladamente ya que, como haré notar, las ideas metafísicas de estos filósofos naturales estaban entreveradas con sus explicaciones físicas.

Considero que la importancia de las propuestas que desarrollaré, así como del esquema bajo el cual las presento, radica en que podremos ver algunos aspectos de la relación entre la *física* y *metafísica* de los autores estudiados, que tradicionalmente no han sido contemplados. A partir de la famosa correspondencia Clarke-Leibniz, se sabe que el segundo entra en conflicto con Newton por razones metafísicas y teológicas en asuntos de física.⁷ Asimismo, es sabido que Leibniz critica la física de Descartes por cuestiones, en gran medida, metafísico-teológicas.⁸ También se cuenta con evidencia textual de que Newton le dirige una serie de objeciones a Descartes de índole tanto física como teológica.⁹ Sin embargo, además de la evidencia textual directa, un *análisis sincrónico* de sus nociones físicas, muestra que, al margen de sus desacuerdos en el terreno metafísico-teológico, Descartes, Newton y Leibniz, convergen en algunos puntos desde la perspectiva de la física; tan es así que, de manera conjunta, sentaron las bases para la articulación de los conceptos fundamentales de la mecánica clásica (cantidad

⁷ Se trata de la polémica que Leibniz mantuvo con el teólogo Samuel Clarke (1695-1729) entre 1715 y 1716.

⁸ Sobre este tema, la evidencia textual es mucha: la primera data de 1686 con el manuscrito que hoy se conoce como *Discurso de metafísica*.

⁹ Estas dos críticas, se las dirige Newton a Descartes, de manera conjunta, en el *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*.

de movimiento, fuerza y energía). Ésta es la propuesta que desarrollo en la primera parte de mi trabajo.

Otros textos muestran que Newton y Leibniz esgrimen argumentos de carácter fundamentalmente metafísico en contra de la noción de extensión de Descartes,¹⁰ pero sólo un *análisis diacrónico* de sus concepciones físicas y metafísicas, nos hace ver de manera clara, que una de las alternativas que ambos propusieron a la *extensión cartesiana* fue similar: me refiero a los “principios activos”, que analizo en la segunda parte de este trabajo.

La exposición de los temas investigados la hago principalmente a partir del examen de fuentes directas de los filósofos naturales que me ocupan: Descartes, Newton y Leibniz, así como de los comentarios de algunos de sus contemporáneos y sucesores del siglo siguiente: Bernard de Fontenelle (1657-1757), Voltaire (1694-1778), Emilie de Breteuil, Marquesa del Châtelet (1706-1749), Euler (1707-1783) y D’Alembert (1717-1783).

Como complemento a las fuentes originales que he consultado y para darle curso a mi investigación, he considerado fundamentalmente a Daniel Garber para el tratamiento de algunos temas de la física de Descartes y de Leibniz. Por ejemplo, con Garber veremos cómo el ‘principio de la conservación de la cantidad de movimiento’ es una pieza esencial de la *física cartesiana*.¹¹ Este ‘principio de conservación’, por otro lado, será uno de los conceptos básicos para articular mi exposición de la primera parte del trabajo, porque sobre la base de este ‘principio’ Newton y Leibniz concretaron sus propias

¹⁰ La crítica de Newton a la *extensión cartesiana* la podemos constatar en el *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*; las de Leibniz son varias y datan, al menos, de 1669 con su carta a Thomasius (1622-1684).

¹¹ *Descartes’ Metaphysical Physics*, The University of Chicago Press, Chicago, 1992, pp.197-210.

nociones de 'fuerza'. Asimismo, exploraremos con Garber, la relación que existe entre el 'principio de conservación' de Descartes y su 'primera ley de la naturaleza': la persistencia del estado mecánico, sea éste el movimiento o el reposo.¹² Esta cuestión es relevante, pues estos enunciados le sirvieron de base a Newton para formular lo que actualmente conocemos como la 'ley de inercia'.

En cuanto a Leibniz, Garber nos expone algunos de los argumentos con los que el filósofo alemán intentaba mostrar la insuficiencia del 'principio cartesiano de conservación del movimiento'.¹³ Pero concluye Garber:

La sola idea de una cantidad que se conserva en el mundo era una idea muy importante, al margen del error de Descartes acerca de qué es exactamente lo que se conserva [la cantidad de la masa por su velocidad al cuadrado, y no sólo, la cantidad de la masa por su velocidad]. Problemática como pudiera haber sido, la formulación de Descartes sirvió para que la idea [*de conservación*] entrara en circulación, y de esa manera, sentó las bases de la mecánica clásica que vendría.¹⁴

La apreciación acerca de la importancia del descubrimiento de un 'principio de conservación' se puede constatar, asimismo, en un texto del físico Richard Feynman:

Cuando aprendemos física descubrimos que existe un gran número de leyes complicadas y llenas de detalles (...) Pero tras el abanico de estas leyes subyacen grandes principios generales que todas ellas parecen cumplir. Ejemplo de ello son los *principios de conservación* (...) Para [los físicos] una *ley de conservación* significa que existe un número que puede

¹² *Descartes' Metaphysical Physics, op. cit.*, pp.210-218.

¹³ *Descartes' Metaphysical Physics, op. cit.*, pp.209-210.

¹⁴ *Ibid*, p.210.

calcularse en un momento dado y que si se vuelve a calcular en un momento posterior seguirá siendo el mismo aunque la naturaleza se transforme sin cesar. Un ejemplo de esto es la conservación de la *energía* (...) Todas las leyes físicas obedecen a los mismos *principios de conservación*.¹⁵

Como última referencia bibliográfica concerniente a la importancia del 'principio de conservación' propuesto por Descartes, citaré al historiador de la ciencia Desiderio Papp, quien en su *Historia de la física* señala la relación que existe entre este 'principio' y las nociones de fuerza de Newton y Leibniz.¹⁶

Para la presentación de la *física newtoniana* me baso en ensayos de Alan Gabbey. Con este autor analizaremos los distintos sentidos que el concepto de 'mecánico' tiene para Newton. Asimismo, con Gabbey se verá cómo surge la noción newtoniana de 'principios activos'.¹⁷ Por otra parte, con el matemático Edmund Whittaker veremos también por qué razón Newton concibe que deben existir ciertos 'principios de actividad' en la materia.¹⁸

Por último, para el tema de los 'principios de actividad' de Leibniz', considero nuevamente a Garber. En este caso veremos una panorámica de la evolución que tuvo la noción de fuerza de Leibniz hasta el surgimiento de sus 'principios activos'.¹⁹

¹⁵ *El carácter de la ley científica*, Tusquets, Barcelona, 2000, pp.67 y 93. (Las cursivas son mías.)

¹⁶ Ver *Historia de la física*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1945, pp.70-71.

¹⁷ Ver "Newton, active powers and the mechanical philosophy", *Cambridge Companion to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, pp.336-347.

¹⁸ Ver Introducción a *Opticks: A Treatise of the Reflections, Refractions and Colours of Light*. Edición de B. Cohen, Dover Publications, Nueva York, 1979, pp.lxx-lxxiv.

¹⁹ "Leibniz: physics and philosophy", *Cambridge Companion to Leibniz*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp.270-352.

El contenido de los capítulos es el siguiente:

Primera parte: *La física del movimiento*

En el capítulo 1: *Los cimientos para una ontología de la fuerza*, hago un recorrido del *mecanicismo cartesiano* y la explicación del movimiento según esta concepción. El enfoque matemático que le doy a estos temas permite precisar la transformación que tuvo la noción de fuerza desde Descartes hasta llegar a Leibniz. La finalidad de este capítulo es sentar las bases para la discusión de los temas subsiguientes.

En el capítulo 2: *La crítica de Newton al mecanicismo de Descartes*, expongo las objeciones de Newton contra la explicación cartesiana del movimiento. También muestro cómo Newton, a pesar de su desacuerdo con el mecanicismo de Descartes, retoma aspectos de éste al desarrollar su física. En este capítulo, mi intención es hacer ver cómo, no obstante que algunas críticas de Newton a la teoría del movimiento de Descartes son pertinentes, hay intuiciones correctas en este último que llegarán a formar parte posteriormente de la física clásica.

En el capítulo 3: *La crítica de Leibniz a la 'dinámica' de Descartes*, presento las críticas del primero a las 'leyes especiales' y la noción de 'conservación de la cantidad de movimiento'. Con este capítulo, como en el anterior, lo que me interesa es poner de relieve las intuiciones correctas de la concepción cartesiana del movimiento.

En el capítulo 4: *La 'medida de la fuerza'*, hago una reconstrucción de los conceptos de 'fuerza' cartesiana, newtoniana y leibniziana. Asimismo, presento la defensa que la Marquesa del Châtelet (1706-1749) hace de la 'fuerza' leibniziana, y la 'proscripción' de toda noción de fuerza en la dinámica de D'Alembert (1717-1783). En este capítulo hago el puente entre la explicación del *movimiento* en el aspecto físico-matemático y la noción de *fuerza* bajo el enfoque metafísico. Así, en él se verá cómo en los siglos vistos en esta investigación, el problema para dar una definición precisa de *fuerza* no era tanto matemático sino metafísico.

Segunda parte: La *metafísica* del movimiento

En el capítulo 5: *El estatus ontológico de la fuerza en el mecanicismo cartesiano*, presento de manera sucinta la discusión contemporánea acerca de la ontología de la *fuerza cartesiana*. Este capítulo pretende poner de manifiesto que el debate acerca de lo que la *fuerza* significaba para Descartes no está aún resuelto; y cómo dependiendo de la interpretación que se dé de su noción, se puede decir que la 'fuerza' era para él una realidad ontológica o sólo un término heurístico.

En el capítulo 6: *La mecánica newtoniana y los 'principios activos' en la materia*, muestro cuál era el estatus de las fuerzas para Newton. Así, en este lugar abordo el tema de los 'principios activos', elementos 'inobservables' que, según Newton, no deben considerarse 'cualidades ocultas'. Por otro lado, hago referencia a los comentarios de Euler a propósito de la *atracción newtoniana*. También presento parte de la famosa correspondencia entre Samuel Clarke

(1695-1729), portavoz de Newton, y Leibniz. La intención de este capítulo es demostrar que para Newton las fuerzas de tipo mecánico a la Descartes no eran suficientes para dar cuenta de todos los fenómenos, en particular: la gravedad, la electricidad y el magnetismo, pero tampoco de los impulsos en los músculos.

En el capítulo 7: *Los fundamentos metafísicos de la fuerza leibniziana*, expongo la objeción de Leibniz contra la extensión (cartesiana) como origen del movimiento. Parte fundamental de este capítulo es un análisis de la forma en que Leibniz concibió las 'fuerzas'. Por último, hago una revisión de su noción de *mónada* y la teoría de la *armonía preestablecida*, en lo que concierne a estas cuestiones sobre filosofía natural. En este capítulo muestro que la reacción de Leibniz en contra del *mecanicismo cartesiano*, como explicación de todo cuanto acontece en el mundo, es más extrema incluso que la de Newton. Por ello, considero importante hacer ver de manera puntual la transformación que Leibniz hizo de su concepto de fuerza a lo largo de su vida.

En la parte final, incluyo cuatro *apéndices*. El primero contiene un breve examen de los modelos historiográficos de Laura Benítez y Alexandre Koyré, los que he tomado como apoyo metodológico para este trabajo. Estos modelos teóricos presentan una forma de estudiar el desarrollo del pensamiento científico con la que yo coincido. Puesto en líneas generales: la historia de la ciencia no es continua, pero tampoco los cambios en ella son abruptos. Benítez nos hace ver que las nociones científicas surgen en marcos filosóficos determinados que, en todo caso, no son excluyentes a otros marcos, sino que

coexisten. Koyré, por su parte, nos muestra que en la base de estas ideas de ciencia siempre hay un supuesto filosófico fundamental. En el mismo tenor, señala que, al estudiar un autor, es importante no discriminar sus “errores”, ya que no se deben al azar o el descuido sino que tienen su origen en alguna concepción filosófica preestablecida. Por otra parte, Koyré nos refiere que en un estudio historiográfico es necesario eliminar los propios prejuicios retrospectivos a fin de poder entender correctamente los autores que nos ocupan. Estas reflexiones sobre cómo hacer historia de la ciencia de Benítez y de Koyré, me han servido de guía en mi investigación.

En el segundo *apéndice* presento un resumen de las *reglas de choque cartesianas* a la luz de la teoría de las colisiones de Huygens (1629-1695). Con esto pretendo precisar algunas ideas de la física de Descartes que examino en la primera parte del trabajo.

En el tercer *apéndice* discuto, desde un punto de vista filológico, el sentido de los términos latinos <vis> y <virtus> utilizados por Descartes, Newton y sus contemporáneos, que posteriormente dieron lugar al concepto de *fuerza*, tal como lo conocemos en la actualidad.

Por último, en el cuarto *apéndice* presento un cuadro comparativo de las nociones de fuerza de Descartes, Newton y Leibniz. Con este cuadro se pueden ver esquemáticamente las diversas transformaciones que tuvo dicho concepto, en cada uno de estos autores, en el aspecto metafísico.

Antes de ponerle punto final a esta *Introducción*, encuentro pertinente señalar que mi trabajo está encaminado a hacer un rastreo del curso que siguió la ‘fuerza’ en el periodo que va de Descartes a D’Alembert. Por ello, explicar el

movimiento desde la perspectiva de la física, y analizar los supuestos que subyacen a la *fuera* en el marco de la filosofía, me fue útil para delimitar mi investigación. El propósito ha sido tener una mayor comprensión del desarrollo de las concepciones de estos filósofos naturales sobre el tema, y de la conexión de dichas concepciones con las ideas físicas y filosóficas de nuestros días.

COMENTARIOS SOBRE LAS TRADUCCIONES

Todas las traducciones al español son mías, salvo las que provienen de ediciones castellanas. En algunos casos, especialmente al citar facsímiles, pongo a pie de página el texto en el idioma original, preservando la ortografía y puntuación originales.

Parte I
La física del movimiento

CAPÍTULO 1. LOS CIMIENTOS PARA UNA ONTOLOGÍA DE LA FUERZA

Les deux grands hommes [Descartes et M. Newton], qui se trouvent dans une si grande opposition, ont eu de grands rapports (...) Tous deux ont fondé leur physique sur une géométrie qu'ils ne tenoient presque que de leurs propres lumières.¹

Fontenelle

En este segundo capítulo haré una breve exposición del mecanicismo desarrollado por Descartes (1596-1650), como una de las explicaciones de los fenómenos del mundo natural anteriores a la mecánica newtoniana. La exposición de este tema servirá, asimismo, para presentar los aspectos análogos entre la física cartesiana² y la newtoniana así como sus diferencias, en lo que concierne a la noción de cómo se da el movimiento. De ahí que en este capítulo hablaré fundamentalmente de la concepción cartesiana de la materia, como uno de los cimientos de las ideas de fuerza que Newton (1642-1727) y Leibniz (1646-1716) desarrollaron posteriormente. Del tema de la fuerza, propiamente, hablaré en los capítulos siguientes.

La orientación que daré al tema del mecanicismo cartesiano es de tipo matemático. Ello me permitirá poner de relieve algunas de las cuestiones que

¹ *Éloge de Newton* (1727) en *Choix d'éloges français les plus estimés par M. de Fontenelle*, p.22, (<http://gallica.bnf.fr>).

² Estrictamente hablando, quizá no se pueda hablar de una 'física cartesiana' pues el desarrollo de la física como una disciplina independiente de la filosofía data de finales del siglo XVIII. Sin embargo, dado que este trabajo versa sobre la noción de fuerza de los siglos XVII y XVIII, esta licencia es permisible. Con la frase 'física cartesiana' lo que hago es poner de relieve que hay un aspecto particular de la filosofía natural de Descartes que es una de las piezas claves para la formulación de la física clásica tal como la concebimos. Esto lo sustentó no sólo en Koyré, de quien he hablado y seguiré hablando, sino asimismo en Maxwell (1831-1879) y Duhem, quienes como físicos hacen referencia a Descartes en su *Materia y Movimiento* (1877) y *La teoría física* (1906), respectivamente.

particularmente Newton le criticó a Descartes;³ por otra parte –aunque relacionado con lo anterior-, el enfoque matemático contribuirá a mostrar, con mayor precisión, el cambio conceptual que tuvo la ‘fuerza’ desde Descartes hasta Leibniz.

Por último, señalo que en este capítulo haré referencia también a algunos aspectos teológicos y epistemológicos de la filosofía de Descartes; dichos aspectos son, en última instancia, el fundamento de su física (i.e. de su mecanicismo).

1.1 Datos preliminares

Antes de dar inicio a la exposición del mecanicismo cartesiano y de los temas derivados del mismo: la materia y la fuerza, hago una breve reseña de la literatura del propio Descartes que contiene estos temas. Asimismo, reviso de los textos en los que se encuentra su concepción de las matemáticas. Esto último con el fin de establecer de antemano el tipo de interés que en ellas tenía.

1.1.1 La literatura acerca del mecanicismo

Dos son los escritos en los que Descartes presenta principalmente su mecanicismo y con ello sus ideas de la materia y la fuerza; y uno en el que explícitamente trata el tema de la fuerza.

El primero de los escritos acerca del mecanicismo es *El Mundo o tratado de la luz*. Este es un tratado que redacta hacia los años 1629(30)-1633; pero

³ Las críticas que Newton dirige al mecanicismo cartesiano no son sólo en el ámbito matemático sino también en el teológico. (Las críticas de carácter teológico las traté en mi tesis de Maestría: *Materia y movimiento en las filosofías naturales de Descartes y Newton* (2002).

que permaneció inédito hasta 1664, esto es, catorce años después de su muerte pues –de acuerdo con la tesis más aceptada-,⁴ Descartes enterado de la condena de Galileo (1564-1642), prefirió no publicarlo –debido quizá a que en él, al igual que Galileo, sigue el paso a Copérnico (1473-1543) en lo que se refiere al movimiento de la Tierra.⁵

El segundo escrito –acerca del mecanicismo- son los *Principios de la filosofía*, publicados en latín en 1644, 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. Ahora bien, la razón por la que quizá la publicó, estriba en que en ellos presenta una diferencia fundamental con respecto al *Mundo*. Mientras en *El Mundo* defendía el movimiento de la Tierra en torno al Sol, en los *Principios* afirma que si bien la Tierra se mueve con respecto al Sol, permanece en reposo respecto a una materia que lo circunda.⁶

Por último, el escrito sobre la fuerza, es el “Tratado sobre la mecánica” (1668). Éste no es un tratado propiamente, en el sentido de que Descartes pensara en publicarlo eventualmente, sino una carta que envía a Constantijn Huygens (1596-1687) –con fecha 5 de octubre de 1637⁷. Lo interesante de este escrito es que en él Descartes hace explícita su concepción de la fuerza, algo que no hace ni en *El Mundo* ni en los *Principios*, textos donde da por supuesto

⁴ Uno de los sitios donde aparece esta tesis es A. Rioja, *Teorías de Universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999, pp.147-151. Asimismo, puede verse en J. Cottingham, *Descartes*, UNAM, México, 1995, pp.27-29.

⁵ En realidad lo que ahora llamamos *El Mundo o tratado de la luz*, es sólo una de las partes que sobrevive del trabajo que Descartes había hecho con anterioridad a su temor por la Inquisición. La otra parte que sobrevive es *El Tratado del hombre*.

⁶ La materia a la que me refiero es la que se conoce como éter cartesiano. En la sección dedicada al *mecanicismo* consideraré con más detalle esta cuestión.

⁷ Fecha de la carta citada en Dugas, *A History of Mechanics*, Dover Publications, Nueva York, 1958, p.154.

lo que entiende por fuerza –quizá porque en ellos su prioridad era dar énfasis a su cosmología.

1.1.2 La literatura acerca de la matemática

Cuatro son los escritos en los que principalmente se puede encontrar la concepción que Descartes tenía de las matemáticas, o dicho de otro modo, la función que a ellas les daba.⁸ El primero es las *Reglas para la dirección del espíritu*.⁹ En él hace un análisis puntual de la importancia de las matemáticas como modelo para poder hacer deducciones correctas al estudiar la naturaleza;¹⁰ sin embargo, este escrito redactado hacia 1628; permanece inédito hasta 1701. La razón para que Descartes no publicara las *Reglas*, es distinta a la del *Mundo*. En esta ocasión, no fue por temor a la Inquisición, sino porque quizá se dio cuenta que el estudio de los fenómenos naturales no concordaba en todo con el modelo que proponía en esta obra.¹¹ Es así que la

⁸ Existe un texto cartesiano que trata de operaciones matemáticas, en sentido estricto. Tal texto es la *Geometría* (1637), y es donde establece los fundamentos de lo que ahora se conoce como geometría analítica. En este capítulo, sin embargo, lo que me interesa es hacer énfasis en el otro aspecto de la matemática de Descartes: el de modelo a seguir para estudiar el mundo natural.

⁹ El original en latín es *Reguloe ad directionem ingenii*, así el término <espíritu> tiene un sentido cercano al que se le dará en la Ilustración, i.e. de habilidad o agudeza mental; no obstante que, más tarde Descartes mismo escriba sobre la diferencia ontológica entre la materia y la mente. Para una visión más amplia de este tema, ver M. Terrall, *The Man Who Flattened the Earth*, The University of Chicago Press, Chicago, 2006, pp.1-15. (Sobre la traducción de <ingenii> ver V. Balnco, Diccionario latino-español, Aguilar, Madrid, 1952.)

¹⁰ Ver René Descartes: *Reglas para la dirección del espíritu*, en edición de Juan Manuel Navarro, Alianza, Madrid, 1984, pp.68-70.

¹¹ De acuerdo con Salvio Turró, las *Reglas* las escribió Descartes cuando la sabiduría hermética (tema de su juventud) dejó paso a la idea de un método general *more mathematico* para todas las ciencias. Esto es, un método capaz de reemplazar el antiguo *organon* aristotélico, o lo que es igual, de sustituir la lógica clásica, por una innovadora construcción matemática del mundo pensada como *novum organon* de la ciencia. De cualquier manera, aun cuando la adecuación de este método a problemas reducibles a operaciones algorítmicas (v.g. series numéricas, temas geométricos) era plena, surgieron dificultades cuando Descartes intentó aplicar este mismo método a investigaciones empíricas. Por ejemplo, ¿cómo representar en general, con claridad y

deja no sólo inédita sino, asimismo, inconclusa¹²—al igual que *El Mundo*, como ya se ha visto-.

El segundo escrito donde se puede constatar la función que las matemáticas tienen para Descartes es *El Mundo o tratado de la luz*. En este tratado establece que la materia *per se*, al igual que el movimiento, son descriptibles geoméricamente, pero además que ésta es la manera más inteligible de describir la naturaleza.¹³

Un tercer escrito es el *Discurso del Método*, publicado en 1638. En él Descartes insiste nuevamente en que el modelo para estudiar la naturaleza debe ser el de las demostraciones matemáticas.¹⁴

distinción la materia y sus transformaciones, cuando estas cuestiones no atañen sólo al entendimiento sino también a los sentidos y a la imaginación? Las *Reglas* no van más allá de responder que los fenómenos naturales deben tratarse <mediante cierta analogía con la extensión del cuerpo figurado> (AT, X, 441), sin precisar si esta *analogía* entre lo sensible y la idea de extensión —transposición física del espacio euclídeo— es una intuición en el sentido de percepción clara y distinta, si se trata de establecer una semejanza instrumentalmente útil pero sólo a título hipotético, o si ofrece la esencia metafísica de la realidad física./ Así, tan pronto como Descartes amplió sus investigaciones empíricas a la anatomía y fisiología donde el conocimiento por analogía quedaba muy alejado de cualquier intuición pretendidamente dotada de evidencia absoluta, el método de las *Reglas* le pareció insuficiente, y a partir de 1630 se propuso la redacción de un nuevo tratado para sustituir el proyecto inconcluso. El nuevo tratado en cuestión sería *El Mundo*, donde presenta una explicación rigurosamente mecanicista de los fenómenos naturales tanto de los físicos como de los orgánicos. Ahora bien, dado que la nueva explicación de los fenómenos, nada tiene que ver con el aspecto cualitativo que, de entrada ofrece el mundo sensible, sino que es una construcción de segundo orden, Descartes ya no intenta presentarla como intuición inmediata según lo teorizado en las *Reglas*, *El Mundo* se despliega como una fábula. En él, se construye un *nuevo mundo* donde las apariencias fenoménicas que vemos en el nuestro pueden ser explicadas allí en función de la estructura mecánico-geométrica de sus partes materiales. (Ver *Estudio introductorio a El Mundo. Tratado de la luz*, Anthropos, Barcelona, 1989, pp.12-15.)

¹² Una reiteración de por qué Descartes deja inconclusa las *Reglas* se puede ver en la revisión que hago de su concepción matemática en los *Principios*, inmediatamente *infra*.

¹³ Ver *El Mundo. Tratado de la luz*, en edición de Salvio Turró, *op. cit.*, 1989, pp.105 y 107 y 113 y 115. Para Descartes (como para Galileo y la modernidad en general) la materia última de la realidad física no será más que pura disposición matemática (extensión, figura, movimiento, etc.), pues —como se ha visto en el caso de Descartes— de esta manera se obviaba el aspecto de las cualidades sensibles.

¹⁴ Ver *Discurso del método*, en edición de Antonio Rodríguez, Aguilar Argentina, Buenos Aires, 1980, pp.54-58.

El cuarto escrito son los *Principios*. Aquí una vez más habla de la razón por la cual ha de seguirse el modelo matemático, pero presenta un interesante giro. Deja abierta la puerta a la idea de que sólo podemos alcanzar una certeza parcial (o *certeza moral*, como Descartes mismo la llama) al estudiar la naturaleza, esto es, no podemos acceder a conocerla con una certeza total (o *certeza metafísica*), como se pueden conocer las verdades matemáticas.¹⁵

1.2 Las tesis que subyacen al mecanicismo cartesiano

Para introducir el tema del mecanicismo de Descartes, presento tres tesis principales que están a la base de su explicación del mundo natural: la homogeneidad de la materia, la materia como sustancia extensa y el plenismo. Vistas, como he anticipado, bajo un enfoque matemático, el cual, por otra parte, permite ver la propia noción matemática de Descartes.

¹⁵ Ver René Descartes. *Los principios de la filosofía*, en edición de Guillermo Quintás, Alianza, Madrid, 1995, pp.410-413. Según Cottingham, lo que más le llamaba la atención a Descartes de los argumentos matemáticos es que proporcionaban claridad y precisión, y que sus demostraciones eran completamente ciertas: no había lugar para un razonamiento probabilístico. En un comentario a Burman, Descartes le dice: “las matemáticas acostumbran la mente a distinguir los argumentos verdaderos y válidos de los que son probables y falsos. En matemáticas quien se fíe de argumentos probables será engañado y conducido a conclusiones absurdas” (AT, V, 177), en *A Descartes Dictionary*, Blackwell, Oxford, 1993, p.113. El mismo rechazo al razonamiento probabilístico – pero extendido a la *ciencia*- se puede constatar en la Regla II (AT, X, 361) y en un pasaje de la segunda parte del *Discurso del Método* (AT, VI, 13). Los pasajes de las *Reglas* y del *Discurso*, junto con el comentario a Burman, son por demás interesantes pues, en el estadio de los *Principios*, Descartes se da cuenta de que no es posible alcanzar la certeza total en todos los ámbitos, si bien no por ello deja de ser la caracterización del conocimiento. Ahora bien, es importante señalar que lo que Descartes rechaza como probabilismo, antes de escribir los *Principios*, es que se considere una opinión como conocimiento sólo porque una supuesta autoridad así lo establece. Sin embargo, ya en los *Principios*, acepta este tipo de probabilismo como certeza moral; asimismo acepta otro tipo de razonamiento probabilístico –como certeza moral: lo que hoy llamaríamos subdeterminación de las teorías.

1.2.1 La homogeneidad de la materia

En el estudio que Descartes hace del mundo natural, adopta resueltamente la idea moderna, según la cual éste está constituido por una 'materia única'.

A diferencia de Aristóteles (384-322 a.C.) y otros autores antiguos y medievales quienes habían pensado que el mundo sublunar está constituido por una materia diferente a la del mundo supralunar,¹⁶ Descartes propone que la materia que constituye los dos mundos es la misma, i.e. que es homogénea.¹⁷ Más aún, propone que esa materia que es homogénea, es susceptible de ser conocida a partir de conceptos básicamente matemáticos,¹⁸ como lo son el tamaño, el número y la forma.¹⁹ Asimismo, el movimiento es susceptible de ser conocido por medio de ideas matemáticas: la traslación de las partes de la materia considerada de manera geométrica.

La importancia de que Descartes se concentrara en las propiedades cuantitativas radica en que crea un marco que hará posible que en el futuro

¹⁶ La filosofía de la 'physis', i.e. de la naturaleza de Aristóteles está contenida principalmente en sus tratados de la *Física*, *Del cielo*, *De la generación y corrupción* y la *Meteorología*. Ahora bien, lo referente las diferencias entre la materia del mundo sublunar y el supralunar se encuentra en los tres últimos tratados listados.

¹⁷ 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).

¹⁸ Aristóteles –y posteriormente algunos autores medievales (aristotélicos)- pensaban que la materia del mundo sublunar era únicamente accesible al conocimiento humano por medio de conceptos no matemáticos. Ahora bien, de acuerdo con M. Sellés y C. Solís, no es que Aristóteles ignorara la importancia de las matemáticas, hasta entonces conocidas; pero consideraba que éstas eran sólo útiles para la descripción geométrica de fenómenos como los astronómicos y ópticos (Ver *Revolución científica*, Síntesis, Madrid, 1994, p.48).

¹⁹ Las tesis de la homogeneidad de la materia y de que hay propiedades de la materia susceptibles de ser cuantificadas no aparecen por primera vez con Descartes. Hay precedentes antiguos y modernos. Entre estos últimos cabe mencionar a Galileo. (Ver José A. Robles, "Inteligibilidad y cualidades sensibles: de Descartes a Berkeley o de la resurrección de las cualidades secundarias", *Diánoia*, vol. 44, UNAM, México, 1998, pp.36-61.)

aparezcan teorías científicas dentro de las cuales se podrán describir y predecir, con mayor precisión que hasta entonces, muchos fenómenos físicos. Este marco que crea, es lo que conduce a Koyré a hablar, de manera reiterada a lo largo de su obra, de la “revolución metodológica llevada a cabo por Descartes”.²⁰

De cualquier manera, dice Cottingham, “tenemos que ser cuidadosos respecto a la afirmación de que Descartes fue un pionero del enfoque cuantitativo en la ciencia”.²¹ De acuerdo con Cottingham, todo lo que Descartes parece requerir para su física es que haya propiedades de los cuerpos que sean, en principio, susceptibles de ser mensurables. Así, -continuando con Cottingham- el reconocimiento de Descartes de la importancia de la ‘cantidad’ no parece haber ido mucho más lejos que eso. A pesar de su acento en esta noción matemática, nunca se compromete con la tesis de que, a fin de hacer buena ciencia,²² se debe ser realmente capaz de suministrar fórmulas detalladas para el cálculo y la medición en relación con la explicación de cada fenómeno.²³ De hecho, las características matemáticas a las que les da realce son, en primer lugar, su simplicidad y en segundo lugar, su rigor deductivo.²⁴

²⁰ Uno de los textos koyreanos donde se puede leer este enunciado es “Orientación y proyectos de investigación” en *Estudios de historia del pensamiento científico, op. cit.*, p.5.

²¹ Ver *Descartes, op. cit.*, p.139.

²² Para Descartes el término <ciencia> significa, desde las *Reglas*, conocimiento cierto y verdadero. (Ver Regla II en *op. cit.*, p.66.)

²³ Un ejemplo de esto es su teoría de los vórtices –la cual trataré en la sección dedicada a su *mecanicismo*. En todo caso, cabe hacer un matiz a la idea de Cottingham de que Descartes nunca se compromete con la tesis de que se deba ser capaz de suministrar fórmulas detalladas para el cálculo y la medición de los fenómenos. En primer lugar, Descartes era un matemático, lo que debería conducir más bien a pensar que no suministraba fórmulas porque no tenía una matemática suficientemente desarrollada para ello; en segundo lugar –ligado con lo anterior-, el interés por las fórmulas algebraicas detalladas se da a partir de Euler (1708-1783) y D’Alembert (1717-1783), esto es, en el siglo XVIII, cuando ya la matemática ha avanzado más.

²⁴ Ver *Descartes, op. cit.*, pp.139-140.

Para ilustrar estas características, a las que Cottingham se refiere, presento la siguiente cita tomada de la segunda parte del *Discurso del Método*:

Esas largas cadenas de razones tan simples y fáciles de las que los geómetras acostumbran a servirse para llegar a sus más difíciles demostraciones, me habían dado ocasión de imaginarme que todas las cosas que pueden caer bajo el conocimiento de los hombres se siguen unas a otras de la misma manera, y que sólo con abstenerse de recibir como verdadera ninguna que no lo sea, y con guardar siempre el orden que es menester para deducirlas unas de otras, no puede haber ninguna tan alejada que finalmente no se alcance, ni tan oculta que no se descubra.²⁵

Y respecto a la función que tienen las matemáticas para Descartes presento otra cita, tomada asimismo de la segunda parte del *Discurso*:

Considerando que, entre todos los que hasta ahora buscaron la verdad en la ciencias, sólo los matemáticos pudieron encontrar algunas demostraciones, es decir, algunas razones ciertas y evidentes, no dudé que hubiese que empezar por las mismas que ellos examinaron, aunque no esperase de aquello ninguna otra utilidad que la de acostumbrar mi mente a alimentarse de verdades y a no contenerse con falsas razones.²⁶

Los dos pasajes que acabo de presentar muestran lo que va a ser una constante a lo largo de la obra de Descartes, esto es, la importancia de las matemáticas como modelo (lo que adelanté en 1.1.2). Modelo que, además de servir como método para razonar correctamente, caza con el estudio de la naturaleza, pues la materia de la que está constituida es mensurable debido a sus propiedades métricas. Así, aun cuando Descartes no suministre fórmulas

²⁵ Descartes, *Discurso del método*, *op. cit.*, p.56.

²⁶ *Ibid*, p.56.

detalladas para explicar los fenómenos, el primer paso ya está dado: todo cuanto hay en el mundo físico puede ser estudiado siguiendo el método matemático. Esta nueva manera de ver el mundo es algo que le sirvió a él mismo, pero también a la posteridad.²⁷

1.2.2 La materia como extensión

De acuerdo con Descartes, la materia es una sustancia cuyo atributo esencial es el de ser extensa. La razón de esta afirmación hay que buscarla en su metafísica, estrechamente ligada a su epistemología. Según estos dos aspectos de su filosofía, un fundamento apropiado para la distinción entre atributos esenciales y atributos accidentales es que la sustancia se puede concebir clara y distintamente sin los atributos accidentales pero no a la inversa. De ahí que, según Descartes, la extensión se puede concebir sin ninguno de los atributos de dureza, peso, color, etc. -i.e. la cualidades sensibles, que más tarde se llamarán cualidades secundarias-, mientras que ninguno de estos se puede concebir sin la extensión.²⁸ Ahora bien, como todo lo material es extenso y, a su vez, todo lo extenso es material, cuerpo y extensión son sinónimos.²⁹ Hablar de un cuerpo significa entonces hablar de

²⁷ Algo interesante que sucederá en la posteridad, con Newton es que ya no le dará tanto ascendente a obtener, lo que Descartes llama, una *certeza metafísica*, sino que estará interesado básicamente en la descripción (matemática) de los fenómenos. La física de Descartes estaba fundamentada en su metafísica, la de Newton en las matemáticas.

²⁸ El universo cartesiano está constituido por dos sustancias: una material y otra pensante. La sustancia material conforma todos los cuerpos del mundo material, i.e. los objetos físicos y la sustancia pensante conforma el alma humana. Así, aunque el alma y la materia son ambas sustancias, son distintas entre sí en tanto que no poseen ningún atributo común.

²⁹ Ver Regla XIV en *Reglas para la dirección del espíritu*, *op. cit.*, p.146. De acuerdo con Cottingham, el término <corpus> es una trampa para los traductores de Descartes. En ocasiones significa cuerpo en sentido general, a veces un cuerpo particular (tal como una piedra); a veces el cuerpo humano. (Ver *Descartes op. cit.*, p.156.)

algo que se extiende por las tres dimensiones del espacio: longitud, anchura y profundidad. A continuación presento estas mismas ideas con las palabras de Descartes en los *Principios*.

Conoceremos que la naturaleza de la materia o del cuerpo tomado en general, en modo alguno consiste en que sea una cosa dura, o pesada o con un color, o de cualquier otro modo que afecte a nuestros sentidos, sino que la naturaleza del cuerpo solamente reside en ser una substancia extensa en longitud, anchura y profundidad.³⁰

Lo que se infiere a partir de esta cita es que Descartes tenía en mente que, para hacer filosofía natural, había que dar con propiedades de la materia que fueran verdaderas en todas sus manifestaciones y bajo todas las condiciones posibles. Ello era algo que las cualidades sensibles no podían aportar, pues siempre podían cambiar. Así, en la concepción cartesiana, lo único que tenía la particularidad de no cambiar era la extensión: aquello que tiene tres dimensiones y que ocupa un espacio. Además, la materia concebida simplemente como extensión puede caracterizarse en términos estrictamente geométricos. Y caracterizarla de dicho modo representa poder inferir conclusiones precisas acerca de ella, a la manera en la que se hacen las inferencias matemáticas. Esto es algo que Descartes mismo expresa en los *Principios*:

Supongo que mis lectores conocen los elementos de la geometría o, por lo menos, poseen el espíritu necesario para comprender las demostraciones de la matemática. Confieso francamente en este lugar que no conozco otra materia de las cosas corpóreas que la que es divisible, configurable y

³⁰ Descartes, *Los principios de la filosofía* (2:24), *op. cit.*, p.73.

móvil en toda suerte de formas, es decir, la que los Geómetras llaman cantidad y que toman por objeto de sus demostraciones; y no considero en esta materia otra cosa que sus movimientos, sus figuras y sus divisiones; finalmente y en lo tocante a esto, nada deseo aceptar como verdadero sino lo que sea deducido de estas nociones con tanta evidencia que pueda tener el rango de una demostración matemática.³¹

En todo caso, la identificación que Descartes hace de la materia con la extensión, i.e. la idea de que la materia –y por consiguiente los cuerpos- son extensión y nada más, será una de las propuestas más problemáticas de la física cartesiana, vista desde la física newtoniana, pues de la extensión no se pueden derivar ni el movimiento ni la impenetrabilidad.³² Estos problemas los trato con mayor detenimiento *infra*, en el apartado del *movimiento mecanicista en el pleno*.

1.2.2.1 Análisis de la noción matemática cartesiana de las Reglas a los Principios

Lo que en realidad hace Descartes desde las *Reglas* es una distinción entre lo que él llama matemática vulgar, esto es, las operaciones matemáticas corrientes y una forma especial de conocimiento que sirve de método para adquirir un saber más alto como es la filosofía.³³

³¹ Descartes, *Los principios de la filosofía* (2:64), *op. cit.*, p.119.

³² Descartes parece haber creído que la impenetrabilidad se sigue de la extensión, pero no parece haber hecho explícita esta derivación. En todo caso, este trabajo no está dirigido a hacer un estudio de si Descartes tenía una idea acabada de la impenetrabilidad, sino a ver por qué Newton introduce la noción de ‘principio activo’ en la materia; y aparentemente una de las razones es precisamente esto: que de la extensión no se puede derivar la impenetrabilidad, que por cierto, es una propiedad esencial para Newton.

³³ Ver la Regla IV en *Reglas para la dirección del espíritu*, *op. cit.*, p.83.

En verdad, nada es más vano que ocuparse de simples números y de figuras imaginarias, de tal modo que parezca que queremos contentarnos con el conocimiento de tales bagatelas, y que dedicarse a estas demostraciones superficiales que se encuentran más veces por casualidad que por arte y que incumben más a los ojos y a la imaginación que al entendimiento, a tal punto que nos desacostumbramos en cierto modo a utilizar la razón misma; y al mismo tiempo, nada es más complicado de resolver, con tal modo de proceder, que las nuevas dificultades encubiertas en números confusos. Pero como después pensase por qué sucedía que antiguamente los primeros creadores de la Filosofía no quisieran admitir para el estudio de la sabiduría a nadie que no supiese *Mathesis*, como si esta disciplina pareciese la más fácil y en sobremanera necesaria para educar los espíritus y prepararlos para comprender otras ciencias más altas, tuve la clara sospecha de que ellos conocían cierta *Mathesis*³⁴ muy diferente de la Matemática vulgar de nuestro tiempo.³⁵

El que Descartes se refiera a las operaciones matemáticas como algo fútil no implica que él considerase que éstas no tuvieran utilidad,³⁶ sólo que no la tenían *per se*, pues a lo que él aspiraba era poder alcanzar lo que él llamaba la sabiduría universal. Debe tenerse en cuenta que, si bien Descartes, intenta explicar el mundo natural de manera distinta a Aristóteles, esto es, cuantitativa y no cualitativamente, no por ello deja de tener influencia de éste respecto a

³⁴ Descartes hace una distinción entre *Mathesis*, como saber fundamental, y la Matemática, como lo que se refiere a las disciplinas matemáticas (Ver Regla IV en *op. cit.*, pp.85-86). Ahora bien, es conveniente señalar aquí que el término griego <mathesis> significa literalmente aprendizaje (ver *A Descartes Dictionary, op. cit.*, p.101).

³⁵ Descartes, *Reglas* (Regla IV), *op. cit.*, pp.83-84. (Las cursivas son mías.) Es importante enfatizar aquí que la unión entre lo matemático y lo filosófico en Descartes es sólo la reanudación de un vínculo que ya había sido instaurado por Platón pero roto después, durante el largo periodo que va de Aristóteles a los escolásticos.

³⁶ De hecho, como se expuso en una nota anterior en 1.1.2, Descartes desarrolla, posterior a las *Reglas*, una obra matemática, la *Geometría*, en la que hace la conocida unificación entre la geometría y el álgebra. Incluso en las *Reglas* hace mención de que en ellas habla con frecuencia de figuras y números, “puesto que de ninguna otra ciencia pueden tomarse ejemplos tan evidentes y ciertos” (Ver Regla IV en *op. cit.*, p.84).

que el conocimiento ha de ser totalizador,³⁷ i.e. exhaustivo y asimismo global.

El siguiente pasaje de la Regla I hace ver esto claramente:

No siendo todas las ciencias otra cosa que la sabiduría humana, que permanece siempre una y la misma, aunque aplicada a diferentes objetos, y no recibiendo de ellos mayor diferenciación que la que recibe la luz del sol de la variedad de las cosas que ilumina, no es necesario coartar los espíritus con delimitación alguna, pues el conocimiento de una verdad no nos aparta del descubrimiento de otra, como el ejercicio de un arte no nos impide el aprendizaje de otro, sino más bien nos ayuda. Y, en verdad, me parece asombroso que casi todo el mundo estudie a fondo y con toda atención las costumbres de los hombres, las propiedades de las plantas, los movimientos de los astros, las transformaciones de los metales y otros objetos de ciencias semejantes, mientras que casi nadie se preocupa del buen sentido [*bona mens*]³⁸ o de esta sabiduría universal [*Mathesis Universalis*], cuando sin embargo, todas las otras cosas deben ser apreciadas no tanto por sí mismas cuanto porque aportan algo a ésta.³⁹

En suma, la *Mathesis Universalis* es el ideal de un conocimiento unificado. De ahí que, por una parte sea método, y por otra, contenga a todas las ciencias.⁴⁰

Habiéndome llevado estos pensamientos de los estudios particulares de la Aritmética y de la Geometría a cierta investigación general de la *Mathesis*,

³⁷ Hay una diferencia entre Descartes y Aristóteles a este respecto. El conocimiento totalizador de Aristóteles incluía la naturaleza, el hombre y se extendía asimismo a un ser divino. Descartes, sin embargo, nunca pretendió que la 'sabiduría universal' pudiera abarcar completamente la idea de Dios (ver *Los principios de la filosofía* (1:19), en *op. cit.*, p.33).

³⁸ Para Descartes <*bona mens*> es sinónimo de <la razón>, que es el poder de juzgar bien y distinguir lo verdadero de lo falso. Sin embargo, en ocasiones también lo hace sinónimo de lo que ordinariamente se llama 'sentido común' (Ver nota 4 en *Op. cit.*, p.63).

³⁹ Descartes, *Reglas*, *op. cit.*, pp.62-64. (Las cursivas son mías.)

⁴⁰ Esta misma concepción acerca de la matemática, como *Mathesis*, estará implícita a partir de las *Reglas*, en toda la obra cartesiana. Ello se puede constatar tanto en *El Mundo* como en los pasajes del *Discurso*, que presenté *supra*.

indagué, en primer lugar, qué entienden todos precisamente por ese nombre y por qué no sólo las ya citadas, sino también la Astronomía, la Música, la Óptica, la Mecánica y otras muchas se consideran parte de la Matemática (*Mathesis*) (...) Y sin embargo, vemos que no hay casi nadie, con tal que haya pisado los umbrales de las escuelas, que no distinga fácilmente de entre cuanto se le presente, qué pertenece a la *Mathesis* y qué a las otras disciplinas. Y considerando esto más atentamente al cabo se nota que solamente aquellas en las que se estudia cierto orden y medida hacen referencia a la *Mathesis*, y no importa si tal medida ha de buscarse en los números, en las figuras, en los astros, en los sonidos o en cualquier otro objeto; y que, por tanto, debe haber una cierta ciencia general que explique todo lo que puede buscarse acerca del orden y la medida no adscrito a una materia especial, y que es llamada, no con un nombre adoptado, sino ya antiguo y recibido por el uso, *Mathesis Universalis*, ya que en ésta se contiene todo aquello por lo que las otras ciencias son llamadas partes de la Matemática.⁴¹

Mientras que la importancia de las matemáticas como ciencia particular (disciplina) radica en ser un modelo de razonamiento a seguir, pues señala la manera adecuada de realizar deducciones⁴² –como he venido mencionando reiteradamente a lo largo de este capítulo:

Desearíamos encontrar aquí un lector inclinado a los estudios de la Aritmética y de la Geometría, aunque preferiría que aún no esté versado en ellas a que esté instruido según la manera común: en efecto, el uso de las reglas que daré aquí para aprender estas ciencias para lo cual basta, es mucho más fácil que para cualquier otro género de cuestiones; y su utilidad para conseguir una sabiduría más elevada es tan grande, que no temería decir que esta parte de nuestro método no ha sido inventada por

⁴¹ Regla IV en *op. cit.*, pp.85-86.

⁴² Cottingham hace una referencia específica a las Reglas II y III; sin embargo esta idea acerca de la importancia de la Matemática como modelo, es la idea de todo el escrito de las *Reglas*.

razón de problemas matemáticos, sino más bien que éstos deben ser aprendidos casi sólo para cultivar este método.⁴³

Así, con base en la tesis cartesiana de la *Mathesis Universalis* como saber fundamental, y de la matemática vulgar como disciplina, se ve claramente que, como dice Cottingham, el modo en que Descartes define la materia, en los *Principios*, es fuertemente evocador del modelo matemático de conocimiento que había propuesto en sus *Reglas*.⁴⁴ A continuación presento el pasaje de los *Principios* con el que la afirmación de Cottingham se puede corroborar:

No acepto principios en Física que no sean aceptados en Matemáticas con el fin de poder probar mediante demostración todo lo que de ellos deduciré; estos principios bastan en tanto que todos los fenómenos de la naturaleza pueden ser explicados por medio de ellos.

Nada expongo en este lugar relacionado con las figuras ni cómo a partir de sus infinitas diversidades acontecen en los movimientos innumerables diversidades; todas estas cuestiones podrán ser bastante comprendidas por ellas mismas cuando sea el momento de hablar de ellas.⁴⁵

Esto es, en este último pasaje, Descartes hace alusión a la matemática como un principio que fundamenta la física (en el título del artículo), pero asimismo hace alusión a lo que él llama matemática vulgar, al hablar de figuras y de cómo acontecen los movimientos de éstas.

⁴³ Descartes, *Reglas para la dirección del espíritu* (Regla XIV), *op. cit.*, p.144.

⁴⁴ Ver Descartes, *op. cit.*, p.130. En 1.1.1 se mencionó que las *Reglas* datan de 1628, el *Mundo* h. 1629-30 y los *Principios* de 1644.

⁴⁵ Descartes, *Los principios de la filosofía* (2:64), *op. cit.*, p.119. (Las cursivas son mías.)

Antes de terminar este apartado señalo que, debido a la distinción cartesiana entre un tipo de matemáticas mediante la cuales se hacen ciertas operaciones y uno como saber fundamental, se puede afirmar con Cottingham que Descartes no se compromete con la tesis de que para hacer buena ciencia se debe ser capaz de hacer cálculos detallados de cada fenómeno (este enunciado lo expuse en el apartado de la *homogeneidad de la materia*). La manera como Descartes presenta la función que para él tienen las matemáticas, parece conducir necesariamente a que no le interesaban *qua* herramienta sino *qua* modelo. De cualquier manera, esta no es una apreciación que comparto del todo, pues si bien es cierto que Descartes reiteradamente hace énfasis en la importancia de seguir el método de los geómetras a fin de hacer deducciones correctas, también es un hecho que en esa época no era tan manifiesto que todas las explicaciones del mundo físico tuvieran una base matemática. Por tal motivo no había todavía una matemática ampliamente desarrollada para ello. Descartes mismo se enfrenta a esta situación e incluso crea una para dar cuenta de algunos fenómenos como el de la luz –en su *Geometría* (1637)- sin embargo, había otros fenómenos como el movimiento planetario, que requerían de otra aún más complicada. Sea lo que fuere, la ausencia de un andamiaje matemático, en sentido estricto, es una de las cuestiones que Newton y sus seguidores criticarán severamente de la física cartesiana. Ejemplos concretos de lo que le fue criticado a Descartes de su física, son la Teoría de los vórtices (i.e. su explicación del movimiento planetario) y su noción de velocidad. (Dichos temas los presento *infra*.)

1.2.3 El plenismo

La tesis del plenismo cartesiano consiste en que el universo está completamente lleno de materia puesto que el vacío es imposible. Como se verá, la función que esta tesis tendrá en la física de Descartes es la de condición de posibilidad para su mecanicismo.

Como expuse en el apartado de la *materia como extensión*, Descartes establece que todo lo material es extenso pero que, a su vez, todo lo extenso es material.⁴⁶ Con ello, lo que quería dejar claro no era sólo que la materia tiene propiedades cuantitativas (lo que ya se ha visto), sino que el concepto de vacío es ininteligible. Para entender por qué sostiene esto último es preciso considerar su cosmología.

En el tratado de *El Mundo*, Descartes habla acerca del origen del universo. Así, en el capítulo 6, donde describe el mundo físico y las cualidades de la materia que lo compone, dice:

Por un momento, pues, permitid a vuestro pensamiento salir de este mundo para ir a otro nuevo (...) Penetremos sólo hasta donde podamos perder de vista todas las criaturas que Dios hizo hace cinco o seis mil años y, deteniéndonos aquí en un lugar determinado, supongamos que Dios crea de nuevo a nuestro alrededor tanta materia que, sea cual sea el lado hacia el que se extienda nuestra imaginación, no perciba ningún lugar vacío.⁴⁷

⁴⁶ Para Newton, la extensión es una cualidad independiente de la materia, de manera que los cuerpos tienen extensión, pero el espacio es asimismo una entidad extensa. Esta idea la desarrolla Newton en su *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, y será además una de las críticas más acérrimas a Descartes, como se verá más adelante.

⁴⁷ Descartes, *El Mundo*, *op. cit.*, p.99. (Véase asimismo *Principios de la filosofía* (2:21)).

Esto es, la materia cubre toda la extensión del universo, por lo que, ni siquiera es posible imaginar algún lugar vacío en él. Algo interesante acerca de por qué Descartes se niega a aceptar la existencia del vacío es que lo hace por una cuestión operativa, no por una razón metafísica como Aristóteles.⁴⁸ La cuestión operativa, a la que me refiero, se puede apreciar en el siguiente pasaje que aparece en la segunda parte de los *Principios*:

Casi todos hemos estado poseídos por este error [la falsa opinión relacionada con el vacío] desde el comienzo de nuestra vida porque, viendo que no existe vinculación necesaria entre el vaso y el cuerpo que contiene, nos ha parecido que Dios podría retirar todo lo que está contenido en un vaso y conservar ese mismo vaso en su mismo estado, sin que fuese necesario que algún otro cuerpo pasara a ocupar el lugar del cuerpo que hubiera sido retirado (...) [Pero] es preciso que dos cuerpos contacten cuando entre ellos dos no se contiene nada, porque existiría contradicción en que estos dos cuerpos estuvieran alejados [v.g. los lados del vaso], es decir, que hubiese una distancia del uno al otro, y que, sin embargo, esta distancia no fuese nada. Es así, pues la distancia es una propiedad de la extensión y, por tanto, no podría subsistir sin una cosa extensa.⁴⁹

Como se ve en estas líneas, lo que para Descartes hacía ininteligible el concepto de vacío era suponer que haya un espacio que no ocupe extensión. Ahora bien, esta aseveración está fundada en una concepción muy particular acerca de la naturaleza de la materia: que la extensión –en longitud, anchura y profundidad–, la propiedad esencial de la materia, constituye asimismo el espacio. En otras palabras, la extensión de un cuerpo y el espacio que éste

⁴⁸ La razón por la que Aristóteles negaba la existencia del vacío era debido a que consideraba que postularlo era análogo a postular la 'nada'. (Ver libro 4 de la *Física*.)

⁴⁹ Descartes, *Los principios de la filosofía* (2:18), *op. cit.*, pp.83-84.

ocupa son lo mismo.⁵⁰ Para ver esto con mayor detenimiento, presento el pasaje –asimismo de los *Principios*- donde Descartes establece esto:

En qué sentido se puede afirmar que el espacio no difiere realmente del cuerpo que contiene.

Fácil será conocer que la misma extensión que constituye la naturaleza del cuerpo, constituye la naturaleza del espacio, y que no difieren entre sí (...) Si para determinar mejor la verdadera idea que tenemos de algún cuerpo, tomamos por ejemplo una piedra y retiramos de ella cuanto sabemos que no pertenece a la naturaleza del cuerpo; esto es, quitemos en primer lugar la dureza (...) y todas las otras cualidades de este género, puesto que no pensamos que estén en la piedra (...) Después de haber examinado de esta forma la piedra, hallaremos que la verdadera idea que de ella tenemos consiste solamente en que nosotros apercibimos distintamente que es una substancia extensa en longitud, anchura y profundidad; esto mismo está ya comprendido en la idea que tenemos del espacio y no sólo del que está ya lleno de cuerpos, sino también del que se denomina vacío.⁵¹

Para Descartes, entonces, el vacío sólo debe entenderse como un espacio en el que no hay nada sensible, aún cuando siempre esté lleno de materia, v.g. aire. Según él, se habla del vacío porque suele tenerse en cuenta únicamente lo que afecta (de manera evidente) a los sentidos.⁵²

Con base en los argumentos cartesianos en contra del vacío hasta aquí expuestos, cabe señalar que éstos servían para que se evitara concebir un

⁵⁰ Laura Benítez, en conversación personal, me explica que la extensión material de un cuerpo y el espacio que éste ocupa son de *re* la misma cosa para Descartes, pero sí se les puede distinguir conceptualmente.

⁵¹ Descartes, *op. cit.*, (2:11), pp.78-79. (Las cursivas son mías.)

⁵² Ver *Principios de la filosofía* (2:17). En cualquier caso, Descartes mismo hace otra especificación del vacío, al que llama ‘vacío en sentido filosófico’, el cual es el concepto que él no acepta, esto es, “aquello en lo que no hay ninguna substancia en absoluto”. (Ver *Principios de la filosofía, op. cit.*, (2:16). Asimismo ver *El Mundo*, capítulo 4.).

espacio independiente de los cuerpos, i.e. un espacio externo a ellos. Pensar que pudiera haber tal tipo de espacio era, en el caso de Descartes, impedir la explicación del movimiento de la manera mecanicista que él proponía.

1.3 El mecanicismo cartesiano y la concepción de que la materia es 'inerte'

1.3.1 La explicación mecanicista

Para la explicación de los fenómenos físicos, i.e. del movimiento de los cuerpos y los cambios de la naturaleza a partir de una materia homogénea y extensa, Descartes apela a lo que se conoce como su mecanicismo. Según él, el universo está totalmente conformado por partes de una materia única; pero dichas partes son de distintos tamaños y formas, que se desplazan a diferentes velocidades. Estas partes al desplazarse a distintas velocidades, colisionan, produciendo con ello los movimientos y cambios en general. El siguiente texto cartesiano de la segunda parte de los *Principios* resume esta última idea:

Así pues, sólo hay una misma materia en todo el universo y la conocemos en virtud de que es extensa; todas las propiedades que apercibimos distintamente de ella, se reducen a que es divisible y a que sus partes están en movimiento y que, en consecuencia, puede ser susceptible de todas las diversas disposiciones que observamos que pueden acontecer en razón del movimiento de sus partes.⁵³

⁵³ Descartes, *Principios de la filosofía* (2:23), *op. cit.*, p.86. Al explicar el mundo físico por medio del mecanicismo y presuponer la existencia de una materia descriptible geoméricamente, i.e. la extensión, lo que Descartes hace es establecer que la *verdadera forma* de la realidad es la distribución espacial –matematizable en figura y movimiento- de las partículas de materia.

Para ver de dónde surge esta materia única, a partir de la cual surgen todos los fenómenos que observamos, es necesario considerar una vez más la cosmología de Descartes.

Así, nuevamente, en el capítulo 8 del *Mundo*, el tratado acerca de la constitución del universo, se lee:

Si se quiere considerar tal materia en el estado que pudo tener antes de que Dios empezara a moverla, hay que imaginarla como el cuerpo más duro y más sólido que exista en el mundo.⁵⁴

Lo que parece sugerir que Dios, al darle origen al Universo, crea la materia y luego la pone en movimiento. Así, en un principio, i.e. antes de que la ponga en movimiento, ésta es un bloque homogéneo, inerte y totalmente sólido. Sin embargo, en el momento mismo que la pone en movimiento, se fracciona, dando lugar a que se formen la diversidad de cuerpos y movimientos que observamos:⁵⁵

Añadamos que esta materia puede dividirse en todas sus partes y según todas las figuras que podamos imaginar y que cada parte es capaz de recibir en sí cuantos movimientos podemos concebir.⁵⁶

⁵⁴ Descartes, *El Mundo*, *op. cit.*, capítulo 6, p.133. La materia de la que habla Descartes en *El Mundo*, no es sólo extensa sino asimismo sólida y dura, por lo cual se puede entender que es impenetrable (no 'dura' en el sentido que a esta palabra le da en los *Principios* (2:4). "percibiremos que la naturaleza de la materia, es decir del cuerpo en general, no consiste en ser una cosa dura(...) sino sólo en ser una cosa extensa"). Esto es, en el pasaje de los *Principios* la dureza no es algo esencial mientras que en el pasaje de *El Mundo* sí lo es.

⁵⁵ Debe entenderse que para Descartes, entre la creación de la materia y su puesta en movimiento, hay un orden ontológico, no cronológico. Puesto de otra manera, para él hay dos niveles de explicación, la geométrica por la que considera al 'bloque' como un todo continuo y la física, donde extensión y movimiento se dan simultáneamente.

⁵⁶ *Ibid*, p.103. (Véase asimismo *Principios de la filosofía* (2:23).

Por consiguiente, el mecanicismo significa no sólo la desaparición de los movimientos cualitativamente distintos de la física aristotélica, sino de las diferencias entre los componentes materiales de los cuerpos: de ahí la afirmación de la absoluta homogeneidad de la materia que permitirá equiparar la materia a la extensión espacial geométrica. En otro pasaje del *Mundo* Descartes expone por qué el mundo físico es así:

Suponemos expresamente que [la materia] no tiene la forma de la tierra, ni del fuego ni del aire, ni ninguna otra más particular –como la de la madera (...), así como las cualidades de estar caliente o fría (...), de tener algún gusto (...), o alguna otra parecida en cuya naturaleza pueda decirse que hay algo que no es conocido evidentemente por todo el mundo. Por otro lado, tampoco pensemos que sea la materia prima de los filósofos, a la que han desprendido tanto de formas y cualidades que no ha quedado nada que pueda ser claramente entendido. Concebimos nuestra materia como un verdadero cuerpo, perfectamente sólido, que llena por igual todo lo largo, ancho y alto de este gran espacio en medio del que hemos detenido nuestro pensamiento.⁵⁷

Uno de los aspectos de la explicación mecanicista, que resalta más, es que la génesis de los cuerpos sea consecuencia del movimiento que se dio al fraccionarse el bloque de materia inerte.⁵⁸ Hago esta afirmación, pues la idea de que los cuerpos están constituidos de una materia, por principio, homogénea y que además sus propiedades se reducen al movimiento es

⁵⁷ Descartes, *El Mundo*, *op. cit.*, capítulo 6, pp.101 y 103.

⁵⁸ Para la explicación de cómo se conforman los cuerpos, Descartes formula una teoría de elementos. Dichos elementos no son los del sentido tradicional, esto es, donde cada uno tenga una forma sustancial diferente (aunque Descartes mantenga la nomenclatura clásica de fuego, aire-(éter) y tierra). La diferenciación está dada por la figura, tamaño y velocidad de las partes originales –del bloque de materia una vez fraccionada; que al chocar forman los cuerpos mezclados (ver *El Mundo*, capítulo 8. y *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (3:52). Asimismo, ver 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.)

resueltamente moderna;⁵⁹ sin embargo, esta misma idea, en el tiempo de Descartes, resultaba un tanto insuficiente para explicar la individuación de los distintos tipos de cuerpos.

1.3.2 *El movimiento mecanicista en el pleno*

Qué es el movimiento para Descartes y cómo se da en el pleno es uno de los temas más interesantes dentro de su filosofía natural pues éste, junto con su noción de materia, es lo que será, en buena medida, el punto a partir de cual Newton desarrollará su física.⁶⁰ Antes de tratar este tema particular del 'movimiento' y lo que Newton le objetará, retomo algunos de los problemas que la noción de 'extensión cartesiana' presenta por estar basada en la idea de que ésta ha de ser necesariamente material. Dichos problemas, vistos ahora con mayor detalle, servirán de base para entender las críticas que Newton le hace.

Reiteradamente he mencionado que para Descartes la extensión es el atributo que define a la materia. Así cuerpo y extensión resultan sinónimos. Ahora bien, puesto que esto siempre es así, toda la explicación de los fenómenos físicos tendrá características geométricas. En concreto, lo anterior será así, porque el movimiento es descriptible como la traslación de partes de materia. Además, una de las propiedades inseparables en los cuerpos es la

⁵⁹ Un ejemplo de por qué considero este aspecto del mecanicismo una idea moderna es la intuición cartesiana de que los estados de agregación de la materia se deben a las distintas situaciones de movimiento de las partículas. Descartes sostenía que la dureza de los cuerpos se explica por la mayor o menor cohesión de sus partes (a mayor cohesión, más dureza) (Ver *Principios de la filosofía, op. cit.*, (2:54-56).) Y el grado de cohesión se debe al mayor o menor movimiento de las partes. En la visión moderna, las moléculas de los sólidos están más amarradas y más cerca entre sí que, por ejemplo, las de los líquidos. En el caso de los gases sucede lo contrario a los sólidos: las moléculas están poco amarradas además de poco cercanas entre sí.

⁶⁰ En el desarrollo de su física, Newton hace una serie de críticas a la física cartesiana; de hecho nunca hace mención de ella para encomiarle algo. En cualquier caso, es evidente que, para bien o para mal, la física de Descartes fue para Newton –y los newtonianos- un eje de trabajo.

figura, que se extiende en las tres direcciones del espacio. Otra de las propiedades inseparables es el tamaño, el cual para la física de Descartes tiene gran importancia. En su física geométrica no existe la noción de masa. De manera tal que, el tamaño, o más específicamente el volumen, es lo que definirá la 'cantidad de materia'.⁶¹

Llegados a este punto se plantean tres de los problemas medulares de la física cartesiana. El primero, que de la extensión no es posible derivar el movimiento. Lo geométrico es pasivo por definición –al menos en la época de Descartes.⁶² Y puesto que la materia tiene únicamente propiedades geométricas, los cuerpos son pasivos. Postular lo contrario sería ininteligible, pues es algo, como lo dice Ana Rioja : “suponer actividad en los triángulos”.⁶³

Otro problema es el del espacio vacío. De un modo genérico sus defensores lo entendían como un medio, no material pero sí extenso, y con la capacidad de ser ocupado por cuerpos. De ahí que el espacio vacío no era concebido como la nada sino como algo extenso en tres dimensiones. Sin embargo, dado que para Descartes donde hay extensión, hay materia, no queda lugar para el espacio vacío.

El tercero es el de la impenetrabilidad de la materia. Dado que el atributo esencial de la materia cartesiana es la extensión, por definición la materia es

⁶¹ Dado su sistema físico, Descartes debe *definir* la masa como volumen. Pero con ello surgen varios problemas. Un caso: ¿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) tengan efectos (de destrucción, por ejemplo) distintos? Ahora bien, será con Newton, quien definirá la 'cantidad de materia' como la relación que hay entre la densidad de un cuerpo y su volumen, que dichos problemas tengan una solución correcta.

⁶² No será sino hasta el siglo XX, cuando Einstein haga derivar la dinámica de la geometría del espacio, que la geometría adquiera un carácter activo.

⁶³ Ver *Teorías de Universo II, op. cit.*, p.128.

espacial, pero no impenetrable. La razón de esto es que, de la misma manera que no se puede derivar el movimiento de la extensión, así tampoco se puede derivar la impenetrabilidad. Ésta es una fuerza, i.e. una propiedad que no puede proceder de una materia geométrica. De cualquier manera, parece que Descartes entendía lo contrario, esto es, que sólo por el hecho de que los cuerpos se extienden en tres dimensiones, ello los hace impenetrables, pues ocupan espacio. Hay que tener en cuenta que para él la definición de cuerpo es: un lugar del espacio (extensión). “Las palabras ‘lugar’ y ‘espacio’ nada significan que difieran verdaderamente del cuerpo del que nosotros decimos que está en algún lugar, y designan únicamente su magnitud, su figura y cómo está situado entre los otros cuerpos”.⁶⁴

Debido a lo anterior, la tesis de que los fenómenos físicos se explican únicamente a partir de una materia cuya propiedad esencial es la extensión será deficiente para Newton; y en alguna medida, la que le llevará a concebir la idea de que para los procesos de cambio y movimiento es necesario un ‘principio activo’.⁶⁵

Sin embargo, la ‘extensión material’ no será para Newton lo único deficiente dentro la física cartesiana, sino también la concepción de movimiento que –como he mencionado– se deriva de esta idea (lo que trato a continuación).

Como Descartes no es capaz de imaginar un lugar en el universo sin materia, por ende el espacio es extensión material. Esto es, los lugares en los

⁶⁴ Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (2:13) pp.78-79.

⁶⁵ La postulación de ‘principios activos’ en la materia parece responder asimismo a cuestiones alquímicas, en el caso de Newton. Para una lectura pormenorizada de esta cuestión, se puede ver la tesis de doctorado en Humanidades de José Ernesto Marquina Fábrega, *La tradición de investigación newtoniana*, UAM Iztapalapa, México, 2003.

que aparentemente no hay nada están ontológicamente (realmente) llenos de materia. Esta idea es, por principio, problemática pues entonces un cuerpo no está meramente en un espacio 'intuitivo' sino entre otros cuerpos; y para su desplazamiento el espacio (virtualmente) vacío ha de quedar ocupado por los otros cuerpos. Dicho en la forma general de la objeción de Newton: es difícil concebir el movimiento cartesiano pues éste ha de darse en un sitio donde no hay espacio donde desplazarse.

Descartes era consciente de la situación, y con el fin de poder explicar cómo es que se dan los fenómenos físicos, introdujo la tesis de que el movimiento dentro del *pleno* era circular. Esta tesis es presentada así en los *Principios*.⁶⁶

Después de lo que ha sido demostrado, esto es, que todos los lugares están llenos de cuerpos y que cada parte de la materia está de forma tal proporcionada a la dimensión que ella ocupa (...) debemos concluir que es preciso necesariamente que hay siempre todo un círculo de materia o un anillo de cuerpos que se muevan conjuntamente al mismo tiempo; de suerte que, cuando un cuerpo abandona su lugar pasa a ser ocupado por otro y así sucesivamente hasta uno último que ocupa el lugar dejado por el primero en el mismo instante. Concebimos esto sin dificultad en un círculo perfecto sin recurrir al vacío.⁶⁷

Esta explicación quizá ayude a hacer más fácil la concepción del movimiento en un espacio sin vacío, pero no puede ocultarse el carácter *ad hoc* y especulativo de la idea del movimiento circular. Al inicio del siguiente capítulo expongo las objeciones de Newton a este tipo de movimiento.

⁶⁶ En *El Mundo*, en el capítulo 8, hay asimismo referencia a esta idea.

⁶⁷ Descartes, *Principios de la filosofía* (2:33), *op. cit.*, pp.93-94.

CAPÍTULO 2. LA CRÍTICA DE NEWTON AL MECANICISMO DE DESCARTES

Les principes évidens de l'un [Descartes] ne le conduisent pas toujours aux phénomènes tels qu'ils sont; les phénomènes ne conduisent pas toujours l'autre [M. Newton] à des principes assez évidens.¹

Fontenelle

En el presente capítulo me ocupo particularmente de las objeciones que Newton le dirige a Descartes en el terreno del movimiento. Sin embargo, también hago referencia a ciertos rasgos explicativos del mecanicismo cartesiano que hacían que éste fuera una teoría eficiente y por consiguiente no tan fácilmente desechable. Por último, trato los aspectos de la física cartesiana que Newton retoma para desarrollar la suya.

2.1 La teoría de los vórtices

Para Descartes todo desplazamiento da lugar a una cadena de movimientos en círculo –como se constata por la cita presentada al final del capítulo anterior-. Los más grandes de estos círculos, los que tienen estrellas en sus centros, son llamados por Descartes ‘vórtices’ o ‘torbellinos’.² La Tierra y los planetas están ubicados en uno de estos torbellinos con el Sol en su centro; y sus movimientos se deben a que los torbellinos los arrastran.

Asimismo, con la teoría de los torbellinos Descartes explica la caída de los graves. Los objetos terrestres pesan porque la materia del torbellino que rodea

¹ *Éloge de Newton* (1727) en *Choix d'éloges français les plus estimés para M. de Fontenelle*, p.23, (<http://gallica.bnf.fr>).

² Ver Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (3:46).

a la Tierra tiene un movimiento giratorio mayor que la materia terrestre y ejerce una presión conjunta de todas sus partes sobre los cuerpos terrestres hacia el centro.³

La teoría de los vórtices tuvo vigencia más de un siglo. Incluso connotados filósofos naturales como Christiaan Huygens (1629-1695) la defendieron en cierto momento.⁴ Hasta el mismo Newton en su *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* parece dar por supuesta, o al menos conceder, la posibilidad de la existencia de los vórtices.⁵

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

³ Para entender esto más claramente es necesario tomar como punto de partida la 'teoría de los elementos' de Descartes –la cual comenté en una nota en el apartado dedicado a la *Introducción al mecanismo cartesiano*. Para explicar el movimiento de los vórtices, Descartes establece que los planetas están conformados primordialmente del elemento tierra –al que llama asimismo tercer elemento- cuyas partículas son grandes, irregulares y lentas. El cielo y los vórtices están conformados por aire o éter. El aire (éter) constituye el segundo elemento, y está constituido de partículas pequeñas, redondas y rápidas. Por último, el fuego –que corresponde al primer elemento-, está constituido por partículas más pequeñas que el segundo elemento, irregulares y rápidas. Las partículas del primer elemento, al ser muy pequeñas e irregulares, llenan los intersticios del segundo elemento (de partículas esféricas) haciendo que no quede ningún vacío en el universo. (Ver *El Mundo*, capítulo 3, *op. cit.* Asimismo ver *Principios de la filosofía* (3:52), *op. cit.*)

⁴ C. Huygens, miembro de la *Royal Society* y posteriormente de la *Académie Royal des Sciences*, se presentó en una de las sesiones de la *Académie* con unas vasijas conteniendo agua y cuerpos de diversa densidad. Agitó dichos cuerpos para que girasen, haciendo ver que los más densos se iban hacia el centro; con ello pretendió mostrar cómo es que los planetas podrían moverse en el éter (ver L. Benítez “Clarke y la física de Rohault”, *Diánoia*, vol. 43, México, 1997, pp.68-69). En particular, parece ser que los cuerpos eran pedazos de cera en un cilindro: la cera se iba al centro del éste; el efecto es el mismo por el que las hojas de té, en una taza, se van al centro después de hacer girar el líquido.

⁵ En todo caso, este escrito en la forma conservada consta casi exclusivamente de una digresión que contiene un ataque contra la física de Descartes expuesta en los *Principios de la filosofía* –como se constatará *infra*. Aunado a este ataque hay, en esta obra, una serie de críticas de carácter teológico. (Para una exposición detallada de estos temas, véase L. Benítez y J. A. Robles, *De Newton y los newtonianos: entre Descartes y Berkeley*, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina, 2006.)

del Sol, para alejarse de su centro se toma como gravedad, [entonces] el éter al alejarse del Sol podría decirse que desciende.⁶

Sin embargo, ya en *Los Principios matemáticos de la filosofía natural*, dirige una crítica fuerte a esta teoría. En primer lugar porque, con base en los resultados de los cálculos matemáticos que él mismo hizo de los movimientos planetarios, era evidente que Descartes no había considerado importante hacerlos para postular su teoría.⁷

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 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.⁸

⁶ "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 et Aequipondio Fluidorum* en *Unpublished Scientific Papers*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1961, pp.148-149.) (Las cursivas son mías.)

⁷ Lo que llama la atención es que, para la época en que Descartes formula su teoría de los vórtices, Kepler (1571-1630) ya había descubierto la elipticidad de las órbitas y la relación entre los periodos de revolución de los planetas y sus distancias medias al Sol; leyes del movimiento planetario, cuya demostración matemática Newton derivará posteriormente de su ley de la gravitación universal.

⁸ Newton, Escolio a la segunda edición de los *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Edición de Antonio Escotado, Tecnos, Madrid, 1997, p.617.

En segundo lugar porque, dada la regularidad de las trayectorias planetarias y de los cometas, se deduce que el espacio interestelar es un medio que no contiene una materia que oponga resistencia al movimiento:

Los movimientos de los cometas son extremadamente regulares (...) y en modo alguno pueden explicarse mediante la hipótesis de los vórtices (...) Los proyectiles sólo experimentan resistencia del aire en nuestro aire. Suprímase el aire, como acontece en el vacío de *Boyle*,⁹ y la resistencia cesa (...) 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.¹⁰

2.2 La relatividad del movimiento

Aunada a la afirmación de que los desplazamientos son circulares debido al *plenismo* material, Descartes sostiene que el movimiento de los cuerpos (y de las partículas o corpúsculos, como nombra también a las partes de materia) es relativo. Que el movimiento sea relativo significa que éste consiste exclusivamente en un cambio de posición (o sitio) de los cuerpos. Ahora bien, Descartes habla de dos tipos de movimiento, uno al que llama 'de uso común' y otro al que llama 'movimiento propiamente dicho'. La explicación de estos tipos de movimiento aparece sólo en la segunda parte de los *Principios*. Acerca del primer tipo de movimiento, i.e. sobre el 'movimiento de uso común', dice:

⁹ El tratado de pneumática de Boyle (1627-1691) donde se puede constatar esta afirmación de Newton es *Nuevos experimentos físicomecánicos relativos a la elasticidad del aire y sus efectos* (1660).

¹⁰ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.617.

El movimiento (es decir, aquel que se desarrolla desde un lugar a otro, pues es el único que concibo y tampoco creo que sea preciso suponer otro en la naturaleza), no es otra cosa, tal y como de ordinario se entiende, que la acción por la cual un cuerpo pasa de un lugar a otro (...) A causa de que estamos acostumbrados a pensar que no hay movimiento sin acción, diremos que está en reposo quien permanece sentado [en la popa de un barco al que el viento impulsa], puesto que no siente en sí acción alguna; tal es la forma común de hablar.¹¹

Pero, en este mismo artículo también dice:

Podemos decir [que una cosa] se mueve y no se mueve. Es así, pues, por ejemplo, quien está sentado en la popa de un barco al que el viento impulsa, cree moverse cuando solamente le presta atención a la ribera de la que ha partido y a la que considera inmóvil, y no cree moverse cuando solamente atiende al barco sobre el que se encuentra por cuanto no cambia de situación respecto de sus partes.¹²

Del segundo tipo de movimiento, i.e. del 'movimiento propiamente dicho', escribe:

[El movimiento propiamente dicho] es la traslación de una parte de la materia o de un cuerpo de la vecindad de los que contactan inmediatamente con él y que consideramos como en reposo a la vecindad de otros.¹³

Como se ve, el movimiento, de manera general, es siempre el movimiento de un cuerpo con respecto a otros que se consideran en reposo. Pero entonces ¿cuál es la diferencia entre los dos tipos de movimiento? La diferencia está en que, de acuerdo con Descartes, el movimiento 'propiamente dicho' es el

¹¹ Descartes, *Principios de la filosofía*, op. cit., (2:24), p.87.

¹² *Ibid*, p. 87.

¹³ Descartes, *Principios de la filosofía*, op. cit., (2:25), pp.87-88.

movimiento en el que hay una traslación recíproca. Al suponer que un cuerpo, llamado A, es transportado desde la proximidad de otro cuerpo, digamos C, el cuerpo C es asimismo transportado desde la proximidad del cuerpo A. Ahora bien, qué cuerpo se considera en reposo no es una cosa que deba ser fijada de manera absoluta.

Si deseamos atribuir al movimiento una naturaleza que pueda ser considerada en sí misma y sin que sea preciso relacionarla con alguna otra cosa, cuando vemos que dos cuerpos que se tocan inmediatamente se trasladan, uno hacia un lado y otro hacia el otro, y que de este modo se separan entre sí, no tendremos dificultad para afirmar que hay tanto movimiento en el uno como en el otro.¹⁴

Mientras que Descartes, con el movimiento de ‘uso común’ sólo quiere establecer que cuando un cuerpo cambia de posición lo hace respecto a otros que se consideran como en reposo, aunque éstos no necesariamente sean contiguos. Por tanto, no considera que haya una traslación recíproca, i.e. un intercambio de sitios.¹⁵

Otro rasgo del movimiento cartesiano –en general- es que éste no es algún tipo de actividad o fuerza interna de los cuerpos por medio de la cual pasan de un lugar a otro, ni tampoco alguna fuerza transmitida de un cuerpo a otro. Como recién acabo de exponer en uno de los párrafos acerca del movimiento ‘según el uso común’ (en *PF* 2:28), Descartes dice que estamos acostumbrados a pensar que no hay movimiento sin acción, pero que tal es sólo la forma común de hablar. Y el párrafo acerca del movimiento ‘propriadamente dicho’ lo termina diciendo:

¹⁴ Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (2:29), p.90.

¹⁵ Ver Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (2:28).

Y digo que [el movimiento] es la traslación y no digo la acción o la fuerza que transporta con el fin de mostrar que el movimiento siempre está en el móvil y no en lo que mueve, pues me parece que no existe costumbre de distinguir con cuidado estas dos cosas.¹⁶

La distinción que Descartes hace de los dos tipos de movimiento es algo que Newton le criticará en su *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*.¹⁷ Para Newton esta distinción resulta absurda. A grandes rasgos porque, Descartes al usar en sus razonamientos a veces su idea “filosófica”¹⁸ y a veces la del sentido común para explicar el movimiento de un cuerpo particular, v.g. la Tierra, lo único que consigue es contradecirse.¹⁹

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.²⁰

¹⁶ Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (2:25).

¹⁷ La crítica newtoniana a Descartes comienza, prácticamente, con el escrito *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* (*Sobre la gravedad y el equilibrio de los fluidos*). Manuscrito inacabado y publicado sólo póstumamente en el siglo XX. (Acerca de la polémica de si este tratado fue compuesto entre los años 1664 y 1668, según la conjetura de A.R. y M.B. en su edición primera en *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton* (1961), p.90, ver D. Gjertsen en *The Newtonian Handbook*, Routledge and Kegan Paul, Londres y Nueva York, 1986, pp.154 y 155, donde este autor refiere que R. Westfall, juzga que el escrito fue redactado hasta 1680, al menos no antes de 1668.) / Existe otro tratado de fecha anterior al *De Gravitatione*, aparentemente redactado entre 1661 y 1665, conocido actualmente como el *Cuaderno de Trinity*, en el que Newton ya adopta una posición crítica respecto a la filosofía natural cartesiana. (Ver M. Mamiani en *Introducción a Newton*, Alianza, Madrid, 1995, pp.26-34.)

¹⁸ Término de Newton en esta obra para nombrar el ‘movimiento propiamente dicho’ de Descartes.

¹⁹ Específicamente, Newton recuerda que Descartes dice que la Tierra no se mueve en sentido filosófico (pues está en reposo respecto al éter circundante), pero en otros lugares dice que la Tierra tiene una tendencia a escapar de la órbita solar (tendencia vencida por el éter del vórtice en que gira). (Ver Newton, *De Gravitatione*, *op. cit.*, p.124. Para los textos cartesianos que critica Newton, ver Descartes, *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, 3:19, 26, 28- 30), pp.134-138.)

²⁰ “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

Una segunda crítica –relacionada con la relatividad del movimiento- en el *De Gravitatione* es la ausencia de un espacio vacío. Descartes considera que el movimiento de un cuerpo se da con respecto a otros que se toman como en reposo –lo que se ha visto. Pero, según Newton, no existe manera de concebir un cuerpo sin movimiento a partir de lo establecido por Descartes. El hecho es que, si una de las tesis de la física cartesiana es que la materia es un pleno en constante movimiento, ningún cuerpo puede suponerse en reposo en forma privilegiada. Retomando el caso de la Tierra, Newton dice:

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.²¹

Sobre la base de lo anterior, Newton concluirá que la única manera para Descartes de evitar el absurdo es suponer que el movimiento de los vórtices se

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.)

²¹ "I ask for what reason any body is properly said to move when other bodies from whose neighbourhood it is transported are not seen as 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 at rest, and this not only in 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.)

da con respecto al espacio, como algo distinto e independiente de la materia de cualquier vórtice:

Pues si el Filósofo [Descartes] remite esta traslación no a las partículas corpóreas numéricas del vórtice, sino al espacio genérico (como él lo llama)²² 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.²³

Otra crítica más sobre el concepto de movimiento relativo –en el *De Gravitatione*–, es que a partir de él se deriva una idea errónea de la velocidad:

Por último, para que el absurdo de esta posición se pueda mostrar plenamente, digo que se sigue entonces que un cuerpo en movimiento no tiene una velocidad determinada ni una línea definida en la que se mueva (...) Por el contrario, no puede haber movimiento puesto que no puede haber movimiento sin una cierta velocidad y determinación.²⁴

La clave de esta última crítica de Newton está en hacer ver que (paradójicamente) no se puede hablar de movimiento con base en la tesis cartesiana; pues lo que se establece con dicha tesis es que cuando el

²² 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. Para Newton el espacio “genérico” será un precedente del espacio que llamará más resueltamente absoluto en los *Principios matemáticos de la filosofía natural*.

²³ “For if the Philosopher refers this translation no 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.)

²⁴ “Lastly, that the absurdity of disposition may be disclosed in full measure, I say that thence it follows that a moving body has no determinate velocity and no definite line in which it moves. On the contrary, there cannot be motion since there can be no motion without a certain velocity and determination”. (*De Gravitatione, op. cit.*, p.129.)

desplazamiento de un cuerpo ha terminado, los cuerpos respecto a los cuales se dio el cambio de posición ya se han movido.²⁵ De modo que, como el “lugar”²⁶ donde empezó el movimiento desaparece, no tiene sentido decir que el cuerpo que supuestamente se ha movido haya recorrido un espacio determinado: Además, dado que sin un espacio recorrido en un tiempo no puede haber velocidad, se concluye que los cuerpos ni tienen velocidad ni tampoco se mueven.

Como es imposible determinar el lugar en que empezó un movimiento (esto es, el comienzo del espacio recorrido [por un 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.²⁷

Un problema fundamental para Newton, en lo que concierne a la conceptualización de la velocidad de Descartes, parece ser el hecho de que este último no considerara al tiempo como un factor para medir el movimiento. En la época en que Newton escribe el *De Gravitatione* ya había desarrollado su cálculo de fluxiones en el que hacía derivar la posición de un cuerpo con respecto al tiempo²⁸ (i.e. podía medir la distancia que el móvil iba recorriendo

²⁵ Ver Newton, *De Gravitatione*, *op. cit.*, pp.129-130.

²⁶ En el contexto newtoniano el ‘lugar’ es la ubicación de un cuerpo en el espacio y, por tanto, es externo al cuerpo. En el caso de Descartes el ‘lugar’ se identifica con el cuerpo y, por ende, con el espacio (ver *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, (2:10 y 13).

²⁷ “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”. (*De Gravitatione*, *op. cit.*, p.130.)

²⁸ Newton desarrolló desde 1665 su cálculo sobre fluxiones –o velocidades de cambio-, de magnitudes variables, que fluyen continuamente, tales como longitudes de curvas, áreas de superficie, temperaturas y, lo que nos interesa aquí, velocidades de desplazamientos de cuerpos. (Ver R. Cantoral y R. M. Farfán en *Desarrollo conceptual del cálculo*, Thomson Learning, , México, 2004, pp.78-79.)

en una unidad de tiempo dada). Pero claramente, esto último es algo que Descartes no podía hacer a partir de su método analítico, el cual le permitía ubicar la posición de un cuerpo pero no describir su movimiento (i.e. con la geometría coordenada, sólo se obtiene la distancia que ha recorrido un móvil).²⁹

Los pasajes que he presentado –de la teoría de los vórtices y la relatividad del movimiento- son los más representativos de la crítica que Newton le hace a la física de Descartes, y los que muestran por qué, finalmente, ésta fue sustituida como explicación de los fenómenos naturales. En todo caso, transcurrió un largo periodo antes de que la teoría newtoniana sustituyera totalmente al mecanicismo cartesiano.

2.3 La primacía del mecanicismo cartesiano

Fue sólo pasada la segunda mitad del siglo XVIII, en el caso de Francia, por ejemplo-³⁰ que el mecanicismo cartesiano fue sustituido como explicación del

²⁹ En este trabajo no trataré el problema acerca de si Descartes considera que el ‘tiempo’ es continuo o discontinuo pues, en última instancia, ello no tiene relación directa con las críticas que Newton le hace. De cualquier manera, dos textos interesantes en los que se contempla esta discusión son: *Descartes’ Metaphysical Physics* de Garber, pp.266-273 y “El papel de las leyes naturales en las nociones de espacio y tiempo en Descartes” de H. Miguel en L. Benítez y J. A. Robles, *La filosofía natural de los pensadores de la modernidad*, México, 2004, pp.111-123.

³⁰ En Francia, la física cartesiana estaba todavía vigente, en los años cincuenta del siglo XVIII, en gran medida gracias a Fontenelle (1657-1757), secretario de la *Academie Royal des Sciences*, quien en dos escritos muestra su reticencia hacia la teoría newtoniana de la gravitación: *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* (1736) y *Teoría de los torbellinos cartesianos con reflexiones acerca de la atracción* (1752). Por el contrario, en Italia y Alemania la física mecanicista ya había perdido terreno desde el siglo XVII con personalidades como Cabeo (1596-1650), Magalotti (1637-1712) y Kepler (ver Paolo Rossi, *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*, Crítica, Barcelona, 1998, pp.160-168).

mundo natural.³¹ Este tipo de mecanicismo no había sido eliminado antes porque, aun con lo que he expuesto que Newton adujo en su contra, resultaba ser una explicación económica. Reducía todos los fenómenos a un principio mecánico. Y dada esta reducción, se podían explicar los movimientos del universo 'entero', i.e. los cambios de posición de los cuerpos terrestres y celestes en tanto que modos de una misma materia homogénea (donde unas mismas leyes de movimiento regían para todas y cada una de las partes de ella).

Por otra parte, el mecanicismo cartesiano resultaba ser asimismo una explicación plausible. La comparación del movimiento de los cuerpos celestes con el de los cuerpos terrestres flotando en torbellinos de fluido era fácilmente imaginable.

Por último, y quizá sea éste la razón más importante, el mecanicismo cartesiano tenía la ventaja de erradicar entidades 'oscuras'. Para dar cuenta de los fenómenos, este mecanicismo prohibía la inclusión de cualquier tipo de 'causa no material', fuera la 'acción a distancia' o cualquier otro tipo de agente causal 'inobservable'.³² Siempre era más 'intuitivo' explicar el comportamiento del mundo con base en lo 'observable', -i.e. por las colisiones de los cuerpos- y suponer que lo 'inobservable' podía explicarse de manera análoga, que hacer intervenir dos ámbitos de distinta naturaleza; el de los cuerpos (o partes de materia), cuyos procesos de cambio eran tangibles y el de las causas de dichos

³¹ Un personaje que no aceptará completamente el newtonianismo es el matemático suizo L. Euler (1707-1783). El caso de Euler es interesante porque fue quien empezó la tendencia de sustituir los métodos geométricos de comprobación que utilizó Newton por los algebraicos, pero era un cartesiano en lo que concierne a la explicación de la naturaleza de las fuerzas. (Ver *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, en edición de Ana Rioja, Alianza, Madrid, 1985.)

³² Dado el sistema filosófico de Descartes, las entidades que él y sus seguidores considerarían como 'inobservables' serían entidades incorpóreas.

cambios, inaccesibles a los sentidos. Postular la existencia de causas ‘inobservables’ era complicar el estudio de la naturaleza, ya que si, en principio, lo que se quería saber era cómo se mueven los cuerpos, con la hipotética existencia de entidades ‘inobservables’ se añadía una incógnita más: lo concerniente al mundo de lo ‘oculto’ que hace que los cuerpos se muevan.

Así es que, por las razones expuestas, el mecanicismo cartesiano estuvo en boga durante mucho tiempo –incluso aún cuando la perspectiva newtoniana del mundo imperaba ya entre los británicos. Sin embargo, es un hecho que este mecanicismo se mostró con el tiempo insuficiente para explicar de manera consistente el magnetismo, la gravedad y la electricidad, esto es, los fenómenos ligados a la ‘acción a distancia’ –entre otros.³³

Lo irónico de esta cuestión es que una de las tesis más fuertes de este mecanicismo, la prohibición de incluir cualquier tipo de ‘causa no material’ para explicar los fenómenos, sería la que lo haría fracasar. Newton, en cambio, apela a ‘principios activos’, i.e. a agentes inobservables para dar cuenta de varios de los cambios en la naturaleza.³⁴

2.3.1 Las leyes de la naturaleza

No obstante las objeciones que Newton le hace al mecanicismo cartesiano, su propia física tiene en ciertos aspectos la impronta de Descartes.

³³ Dentro de estos otros fenómenos está la explicación cartesiana de la combustión de los cuerpos. (Ver *Principios de la filosofía, op. cit.*, (3:92-93, 101-103 y 105-108.))

³⁴ Descartes explicaba tanto los fenómenos de atracción y repulsión (magnetismo) como la causa de los rayos y los relámpagos (electricidad) de la misma manera que explicaba la gravedad, i.e. con base en la colisión de partículas de materia. Parece ser, sin embargo, que no obstante su tipo de concepción mecánica, deja la puerta abierta a que en la materia hay ‘fuerzas ínsitas’, esto es, cierto tipo de ‘principios activos’ que hacen que se produzcan determinados fenómenos –un tanto a la manera en que Newton lo entenderá. (Este asunto ha sido comentado en algunas sesiones de Seminario con Laura Benítez y José Antonio Robles.)

Los aspectos a los que me refiero son la concepción de que la materia es, por principio, inerte y que existen leyes de la naturaleza (del movimiento). De cualquier manera, adelanto que la impronta de Descartes en estos temas se podrá apreciar sólo hasta la exposición completa de Newton.

De acuerdo con Descartes, Dios es la causa primaria de todos los cambios del mundo físico y las leyes del movimiento son las causas secundarias. Dicho en otras palabras, Dios es la causa general de todos los fenómenos naturales y las leyes son las causas de los fenómenos particulares. En *El Mundo* y asimismo en los *Principios*, Descartes subraya especialmente el hecho de que una vez que Dios hubo impartido el movimiento inicial a la materia, el resto de los movimientos y de los cambios se explica por las leyes. La cita que presento a continuación es de la segunda parte de los *Principios*:

Después de haber examinado la naturaleza del movimiento, es preciso que consideremos su causa. Puesto que puede ser considerada en dos formas, iniciaremos su estudio por la primera y más universal de ellas, esto es, por la causa general de todos los movimientos que son en el mundo. Consideraremos, a continuación, la otra, esto es, la razón de que cada parte de la materia adquiera un movimiento que antes no tenía. En relación con la primera causa del movimiento, me parece que es evidente que no es otra cosa que Dios, quien en razón de su Omnipotencia ha creado la materia con el movimiento y con el reposo (...) [Y] a partir de que Dios no está en modo alguno sujeto a cambio y a partir de que siempre actúa de la misma forma, podemos llegar al conocimiento de ciertas reglas, a las que denomino leyes de la naturaleza, y que son las causas segundas de los diversos movimientos que nosotros observamos en todos los cuerpos.³⁵

³⁵ Descartes, *Principios de la filosofía* (2:36 y 2:37), *op. cit.*, pp. 96-98. Ver asimismo *El Mundo*, capítulo 7, *op. cit.*

Ahora bien, la presencia de Dios como causa general del movimiento supone que el sistema cartesiano no proporciona una teoría física independiente. En todo caso, no hay que perder de vista que Descartes –al igual que otros filósofos naturales de su época- forma parte de uno de los momentos iniciales de lo que sería la desvinculación de la ciencia y la teología en el Continente,³⁶ por lo que es comprensible que su física dependa de un fundamento de índole teológica. La necesidad de este tipo de fundamento se la puede ver tanto en *El Mundo* como en los *Principios*:

Conocemos que hay perfección en Dios (...) De tal modo que no debemos suponer otros cambios en sus obras, si no se le desea atribuir inconstancia, que los cambios que nosotros apreciamos en el mundo; aquellos otros cambios que nosotros creemos, porque Dios los ha revelado, que han acontecido y que sabemos que han de acontecer en la naturaleza (...) De donde se sigue que Dios conserva en la materia la misma cantidad de movimiento, puesto que ha movido de formas diversas las distintas partes de la materia, cuando las ha creado, y puesto que las mantiene a todas ellas de igual manera y siguiendo incesantemente las mismas leyes que ha hecho observar en su creación.³⁷

Esto que he transcrito es lo que se conoce como el ‘principio de conservación –de la cantidad de movimiento’ de Descartes. Este ‘principio’ es muy importante pues es, en última instancia, el fundamento de las leyes de la naturaleza (o del movimiento). El mismo Descartes lo refiere así en *El Mundo*:

³⁶ Sin embargo, para los filósofos de la Gran Bretaña, el intento de desvinculación entre la ciencia y la teología será posterior; para ellos este vínculo servía, en buena medida, como control político-social, tras las reyertas religiosas que habían venido teniendo desde más de un siglo atrás.

³⁷ Descartes, *Principios de la filosofía* (2:36), *op. cit.*, p.97. Ver asimismo *El Mundo*, capítulo 7, *op. cit.* En el tratado del *Mundo*, Descartes presenta este argumento de la misma manera que en los *Principios*. Sin embargo, del *Mundo* a los *Principios* sí hace cambios en el orden de las leyes así como en algunos de los aspectos de éstas.

Es fácil creer que Dios –quien, como todo el mundo sabe, es inmutable-actúa siempre del mismo modo. Pero sin extenderme más en estas consideraciones metafísicas, introduciré aquí dos o tres reglas principales mediante las cuales es necesario pensar que Dios hace actuar la naturaleza en este nuevo mundo, reglas que bastarán para hacernos conocer las restantes.³⁸

Así, el ‘principio de conservación’ cartesiano es el principio que regula la naturaleza, y enlaza los fenómenos particulares a la inmutabilidad divina.

Sin embargo, al margen de la dependencia de su física con la teología, Descartes insiste en que, debido al ‘principio de conservación’, las leyes de la naturaleza bastan para la explicación del comportamiento del mundo natural, una vez hecha la intervención inicial de Dios.

¿Cuáles son esas leyes de la naturaleza? Las fundamentales son sólo tres (otras, como las ‘reglas de choque’,³⁹ acerca de las hablo *infra*, se derivan de las fundamentales).

Las leyes como aparecen en *El Mundo* son así:

Primera ley:

Cada parte de materia en particular permanece⁴⁰ siempre en un mismo estado mientras el encuentro con otras no le obligue a cambiarlo. En otras palabras: si tiene un cierto tamaño no disminuirá a menos que otras partes

³⁸ *El Mundo*, capítulo 7, *op. cit.*, p.111.

³⁹ Estas ‘leyes de choque’ sólo aparecen los *Principios*.

⁴⁰ En general, en las traducciones al español, tanto de *El Mundo* como los *Principios* se adopta el verbo ‘permanecer’; sin embargo, en el original de ambos textos el verbo que Descartes usa es *continuer*. Señalo esto porque, de acuerdo con el diccionario de la Real Academia de la Lengua, ‘continuar’ significa proseguir lo comenzado –lo que corresponde a lo que Descartes establece en su física; mientras que si bien, ‘permanecer’ tiene el significado de mantenerse sin mutación en un mismo lugar o estado, está acotado a: durante cierto tiempo. Esto que señalo se podrá apreciar mejor *infra* –en este mismo apartado-, en la discusión que presento acerca de lo que Newton retoma de la noción de materia y las leyes cartesianas. Laura Benítez en su edición de *El Mundo o tratado de la luz* (1986), traduce, a nuestro idioma, *continuer* por ‘continuar’.

la dividan; si es redonda o cuadrada no cambiará esta figura hasta que otras la fuercen; si está quieta en cierto lugar, no saldrá de ahí si otras no la echan; y si ha empezado a moverse, continuará siempre con la misma fuerza hasta que las otras la detengan o disminuyan.⁴¹

Segunda ley:

Cuando un cuerpo impele a otro, no puede darle ningún movimiento si él no pierde simultáneamente igual cantidad del suyo, ni restarle si el suyo no aumenta igual cantidad. Esta regla junto con la precedente concuerda con todas las experiencias en las que vemos que un cuerpo empieza o cesa de moverse porque ha sido impelido o detenido por otro.⁴²

Tercera ley:

Cuando un cuerpo se mueve, aunque su movimiento se haga con frecuencia en línea curva y aunque no pueda efectuarse ninguno que no sea circular en cierto sentido, no obstante cada una de sus partes, en particular, tiende siempre a proseguir el suyo en línea recta. De este modo su acción, es decir, la inclinación que las partes tienen a moverse es distinta de su movimiento.⁴³

Lo que presento a continuación son nuevamente las tres leyes, pero ahora de los *Principios*. Lo que se verá en esta exposición es que la tercera ley del *Mundo* (tocante a la rectilineidad) se convierte en la segunda ley de este escrito y viceversa. La relevancia de esto es que Newton retoma una buena parte de las leyes cartesianas –como aparecen en este escrito de los *Principios*⁴⁴ para formular las suyas, aunque rechaza definitivamente las ‘leyes de choque’.

⁴¹ *El Mundo, op. cit.*, pp.111 y113.

⁴² *El Mundo, op. cit.*, p.117.

⁴³ *El Mundo, op. cit.*, p.123.

⁴⁴ El Descartes que Newton leyó es el de los *Principios de la filosofía*.

Es importante hacer notar que la versión de lo *Principios* que he citado a lo largo de este trabajo está basada en la francesa; de cualquier manera, para este tema particular de las leyes, citaré a pie de página, las partes de la versión latina en las que haya una diferencia significativa con la francesa.⁴⁵ Esto servirá de base para apoyar las opiniones de especialistas, como Garber y Gabbey, sobre las consecuencias de las ‘reglas de choque’ de Descartes.

La primera ley de la naturaleza: Cada cosa permanece en el estado en que está mientras que nada modifica ese estado.

Cada cosa en particular se mantiene en el mismo estado en tanto que posible y sólo lo modifica en razón del encuentro con otras causas exteriores. Así vemos todos los días que cuando una cierta parte de materia es cuadrada, permanece con esa forma si nada acontece que modifique su figura; de igual modo *apreciamos que si está en reposo, no comienza a moverse por sí misma. Pero cuando ha comenzado a moverse, no tenemos alguna razón para pensar que deba jamás cesar de moverse con la misma fuerza mientras no encuentre algo que retarde o que frene su movimiento.* De modo que si un cuerpo ha comenzado a moverse, debemos concluir que continuará moviéndose y que jamás se detendrá por sí mismo.⁴⁶

La segunda ley de la naturaleza: Todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta.

⁴⁵ Al inicio del capítulo anterior mencioné que los *Principios de la filosofía* fueron originalmente publicados en latín en 1644, y posteriormente en francés en 1647. La versión francesa de 1647 fue la primera traducción a ese idioma y la hizo el abate Picot. Lo relevante de esta versión es que contiene variaciones respecto al original, algunas de las cuales parece fueron introducidas por Descartes. (Ver la nota sobre la traducción de la edición de M. López y M. Graña en *Sobre los Principios de la filosofía*, (Descartes y Leibniz), Gredos, Madrid, 1989.)

⁴⁶ *Principios de la filosofía* (2:37), en edición de Guillermo Quintás, pp.98. La frase en cursivas, se lee en la versión latina: “[Una parte de materia] si está en reposo, creemos que no comenzará a moverse a no ser que sea impelida a ello por alguna causa. Y si se mueve, no tenemos mayor razón para pensar que en algún momento deje de moverse por sí sola y sin que nada la detenga”. (Ver *Principios de la filosofía* (2:37), *op. cit.*, en edición de E. López y M. Graña, p.99.) (Las cursivas son mías.)

De acuerdo con la segunda ley de la naturaleza cada parte de la materia, aisladamente considerada, no tiende a seguir su movimiento trazando líneas curvas, sino siguiendo las líneas rectas, aunque varias de sus partes sean frecuentemente obligadas a desviarse, porque encuentran otras en su camino, y *aunque cuando un cuerpo se mueva, siempre se forme un círculo o un anillo* de toda la materia que es movida a la vez.⁴⁷

Tercera ley de la naturaleza: Si un cuerpo en movimiento choca con otro más fuerte que él, no pierde nada de su movimiento; ahora bien, si encuentra otro más débil y que puede mover, pierde tanto movimiento como comunica al otro.

Si un cuerpo que se mueve y que alcanza otro cuerpo, tiene menos fuerza para continuar moviéndose en línea recta de la que este otro cuerpo tiene para resistir al primero pierde la determinación en su movimiento; pero si tiene más fuerza, mueve este otro cuerpo y pierde tanto movimiento como transmite al otro.⁴⁸

A partir de la presentación de las leyes de la naturaleza de Descartes, tal como aparecen en *El Mundo* y en los *Principios*, se pueden deducir dos cosas de su noción de materia –y que son los rasgos de ésta que Newton tomará como punto de partida para formular sus leyes de movimiento. A saber: la materia es ‘inerte’ y, por tanto, la fuerza que hace que los cuerpos se muevan no es intrínseca a ellos. Esto es así porque –como se ha visto- Descartes establece que Dios crea la materia y la dota de una determinada cantidad de movimiento, que se conserva desde el primer instante. Lo anterior implica que

⁴⁷ *Principios de la filosofía* (2:39), *op. cit.*, en edición de Guillermo Quintás, p.100. La presentación de este artículo en la versión latina añadía: “Y, por ello, los cuerpos que se mueven circularmente, siempre tienden a separarse del círculo que describen”. Pero no contenía lo referente a la formación de un anillo cuando la materia se mueve. (Ver *Principios de la filosofía* (2:39), *op. cit.*, en edición de E. López y M. Graña, p.100.) (Las cursivas son mías.)

⁴⁸ *Principios de la filosofía* (2:40), *op. cit.*, en edición de G. Quintás, p.101. (En este artículo no hay diferencias significativas entre la versión francesa y la latina.) (Las cursivas son mías.)

la materia es inactiva *per se* y la fuerza,⁴⁹ que hace que los cuerpos cambien de estado de movimiento, de figura o tamaño,⁵⁰ sea externa, pues proviene del impulso inicial que Dios le da al bloque; con el que lo fracciona y lo pone en movimiento.⁵¹

Newton parte asimismo de que la materia es 'inerte', pero posteriormente parece dotarla de cierta 'actividad'. De ahí que, en algunos escritos, manifieste que las fuerzas que mueven los cuerpos han de ser necesariamente extrínsecas, mientras que en otros hable de que quizá hay ciertos 'principios activos' –en las partículas materiales- que producen algunos fenómenos.⁵² En qué textos Newton considera que la materia es, por principio, 'inerte' y en cuáles ya no la considera así, es algo de lo que se verá más adelante. También se verá cómo Newton mismo no decide si la 'actividad' que la materia pudiera tener es de carácter corpóreo o incorpóreo.

⁴⁹ Descartes no siempre habla de la fuerza como algo que produzca el cambio de estado de las partes de materia, sino que, en ocasiones –en los *Principios*, porque en *El Mundo* no habla de ella- la define como una propiedad de los cuerpos, esto es, algo como la 'dureza', no como un principio de acción. (Esto se puede constatar en la parte que he transcrito de la Tercera ley, de los *Principios*.) Quizá el que Descartes se refiera a la fuerza como una propiedad de los cuerpos tenga que ver con la sustitución que hubo de la palabra *vis* en el latín clásico a la de *fortia* en el latín vulgar. Sustitución que, de acuerdo con Antonio Alatorre, se debe a la conveniencia de vincular ese sustantivo con un adjetivo 'fortis', (fuerte). ("El latín vulgar" en *Los 1001 años de la lengua española*, FCE, México, 2002, pp.64-70). Para otros sentidos que puede tener el término fuerza en la filosofía natural, ver el apéndice al final de este trabajo, donde se presenta una explicación de la diferencia genérica entre *vis* y *virtus*, términos latinos usados tanto por Descartes como Newton, entre otros.

⁵⁰ Como se puede constatar, tanto en *El Mundo* como en los *Principios*, la Primera ley se refiere a la de persistencia de los estados de las partes materiales en general. Esto es, el programa de Descartes es uno que pretende abarcar todos los fenómenos naturales, no sólo el del movimiento; de ahí que en esta ley hable asimismo de la conservación de la figura y el tamaño de los cuerpos o corpúsculos. El programa de Newton es un tanto distinto, sus axiomas o leyes del movimiento se refieren propiamente a las condiciones para que se de el desplazamiento o reposo de los cuerpos. Para los otros fenómenos formula otras leyes particulares, si bien, derivadas de estas primeras.

⁵¹ Recordar que para Descartes, entre la creación de la materia y su puesta en movimiento, hay un orden ontológico, no cronológico.

⁵² Ver la 'Cuestión' 31 de la *Óptica*.

CAPÍTULO 3. LA CRÍTICA DE LEIBNIZ A LA 'DINÁMICA' DE DESCARTES

Descartes avoit vu très-ingénieusement que malgré les chocs innombrables des corps, e les distributions inégales de mouvement qui se font sans cesse des uns aux autres, il devoit y avoir au fond de tout cela quelque chose d'égal, de constant, de perpétuel; et il a cru que c'étoit la quantité de mouvement.¹

Fontenelle

En este capítulo trataré los aspectos que Leibniz desapruaba de la física de Descartes. En particular los temas de la 'conservación de la cantidad de movimiento' y las 'leyes especiales', mejor conocidas como 'reglas de choque'. Comenzaré por la exposición que Descartes mismo hace de sus 'reglas' para continuar con la crítica de Leibniz a éstas. Por otra parte, haré una breve presentación de cuándo Leibniz tiene razón en criticarle y cuándo su crítica rebasa los límites de lo que Descartes mismo podía hacer en el tiempo en que vivió.

3.1 La conservación del momento lineal²

Una idea cartesiana de gran importancia para el desarrollo de la mecánica clásica fue la de que la misma cantidad movimiento en el mundo había de conservarse siempre. Ahora bien, Leibniz (y también Newton) demostraría que

¹ *Éloge de Leibnitz* (1716) en *Choix d'éloges français les plus estimés par M. de Fontenelle*, p.134, (<http://gallica.bnf.fr>).

² El término 'momento' se debe a Galileo y el de 'cantidad de movimiento' a Descartes (Ver R. Westfall en los apéndices de *Force in Newton's Physics*, Macdonald, Nueva York, 1971.)

esto no es del todo así;³ sin embargo lo relevante de este planteamiento de Descartes es que a partir de él se concibió que hay cosas en el mundo que se conservan. Esto es, que existen ciertas propiedades –de un sistema físico dado- que permanecen constantes (incluso a través de una serie de cambios); y que, por tanto, con ellas es posible hacerse una idea de cómo funciona la naturaleza. R. P. Feynman redactó lo siguiente a propósito de estas propiedades que son constantes:

Cuando aprendemos física descubrimos que existe un gran número de leyes complicadas y llenas de detalles: leyes de la gravedad, de la electricidad y el magnetismo, de las interacciones nucleares, etc. Pero *tras el amplio abanico de estas leyes subyacen grandes principios generales que todas ellas parecen cumplir. Ejemplo de ello son los principios de conservación*, ciertas propiedades de simetría, la forma general de los principios de la mecánica cuántica y, por desgracia o por fortuna, el hecho de que todas las leyes sean matemáticas (...) Los físicos emplean los términos corrientes de manera peculiar. Para ellos una ley de conservación significa que existe un número que puede calcularse en un momento dado y que si se vuelve a calcular en un momento posterior seguirá siendo el mismo aunque la naturaleza se transforme sin cesar. *Un ejemplo de esto es la conservación de la energía. Existe una magnitud que se puede calcular según cierta regla y que siempre da el mismo resultado, pase lo que pase (...)* Todas las diversas leyes físicas obedecen a los mismos principios de conservación.⁴

Pero ahora regresemos a Descartes.

Para afirmar lo que posteriormente habría de ser uno de los ejemplos de propiedades constantes de la naturaleza, en particular, de los 'principios de

³ Lo que sí se conserva de manera general en la naturaleza es la energía, como se descubrió en la segunda mitad del siglo XIX. Quien sentó las bases para el descubrimiento de que ésta se conserva fue Leibniz.

⁴ R. Feynman, *El carácter de la ley científica*, Tusquets, Barcelona, 2000, pp.67 y 93. (Las cursivas son mías.)

conservación', como lo es la conservación de la cantidad de movimiento, Descartes dirigió su atención hacia el problema de la acción recíproca de objetos tomados por pares.⁵ A partir de ello, enunció siete 'leyes (o reglas) de choque' derivadas de manera general de sus tres leyes,⁶ y de manera particular de la tercera. Estas reglas de choque, que presenta sólo hasta los *Principios*, difieren algo de la versión latina a la francesa. El hecho de que haya diferencias entre las dos versiones hace suponer a autores como Gabbey y Garber que, en el tiempo transcurrido de una a otra, Descartes cambió de manera de pensar respecto a cómo se conserva la cantidad de movimiento.⁷ De cualquier manera, para la finalidad de este trabajo, bástenos con ver las críticas que Leibniz (y Newton) le harán a su explicación de la 'conservación', pues dichas críticas son las que nos muestran bajo qué circunstancias,

⁵ A este respecto, es importante poner de relieve dos cuestiones. La primera, que uno de los temas que permeó la filosofía natural de los siglos XVII y XVIII fue justamente el de la acción recíproca entre cuerpos, pues querían entender cómo se da el movimiento y equilibrio de éstos. La segunda, que la idealización que hace Descartes para analizar el movimiento, esto es, reducirlo a la acción recíproca de dos cuerpos, es un modelo del cual los físicos se han servido ampliamente. Considérese el caso de la interacción gravitatoria.

⁶ De acuerdo con Garber, hay una relación obvia entre la *primera ley* (la tendencia de los cuerpos a continuar en un mismo estado) y el *principio de conservación* —de la cantidad de movimiento (i.e. el principio general que regula la naturaleza; puente entre los fenómenos y Dios). Sin embargo, no son lo mismo. La *primera ley* establece que el movimiento o el reposo (o la figura y el tamaño) de un cuerpo determinado deben persistir en él, a menos que otro cuerpo altere ese curso; mientras que el *principio de conservación* es una consecuencia del hecho de que una vez que Dios causa el movimiento en el mundo está "comprometido", debido a su inmutabilidad, a mantener el movimiento que creó. (Ver Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, The University of Chicago Press, Chicago, p.215.) Lo mismo puede decirse de la relación entre la *tercera ley* en los *Principios* y el *principio de conservación*.

⁷ Ver D. Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, *op. cit.* capítulo 8. Garber presenta una disertación acerca de dos maneras en las que se puede entender la tercera ley —y con ello las leyes de choque derivadas directamente de ella. La de la versión latina de los *Principios* como un 'modelo de competición de impactos en la colisión' (*impact contest model of collision*), y la de la versión francesa, formulada por Gabbey como un 'principio del cambio modal menor' (principle of least modal change o PLMC). Esta última interpretación es la misma que dio Leibniz —como se verá *infra*.

efectivamente, no cambia la cantidad de movimiento, de acuerdo con Newton, y qué es lo que se conserva, en todos los casos, para Leibniz.

3.2 Las 'leyes especiales' del movimiento

A continuación presento los rasgos más característicos de las 'leyes (reglas) de choque' expuestas por Descartes –y una breve explicación de por qué son erróneas.⁸ En el análisis que Descartes hace de las colisiones, supone choques unidimensionales, colineales, totalmente elásticos, i.e de cuerpos duros; asimismo supone que los pares de cuerpos (C, B) que colisionan son sistemas aislados.⁹ Por otra parte, es importante tener en cuenta que Descartes no define la cantidad de materia de los cuerpos en términos de masa sino de dimensiones de un cuerpo, en la versión francesa, y de moles¹⁰ en algunos pasajes de la versión latina.

Primera regla: Dos cuerpos iguales (C y B), que chocan frontalmente a la misma velocidad, rebotan hacia atrás con la misma velocidad (en *Principios de la filosofía*, 2:46).

(Esta regla será la única correcta bajo los supuestos establecidos.)

⁸ Al final de este trabajo, incluyo un *apéndice* en el que presento nuevamente las *reglas cartesianas* con sus soluciones correctas; en este caso, a partir del *Sistema centro de momento* de Huygens.

⁹ En la segunda parte de los *Principios*, en el artículo 45, Descartes dice lo siguiente: “Cómo se puede determinar la cantidad de movimiento que intercambian los cuerpos al chocar entre sí de acuerdo con las siguientes reglas (...)” Este cálculo sería fácil de efectuar si los cuerpos fueran perfectamente duros, si se pudiera lograr que sólo dos de ellos se encontraran, y si estuvieran en modo tal separados de todos los otros que le circundan, tanto duros como líquidos, que no hubiese alguno que facilitara o dificultara sus movimientos. En este caso se observarían la reglas siguientes”. (Ver *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, pp.104-105.)

¹⁰ De acuerdo con el *Diccionario latino-español* de Vicente Blanco García, Aguilar, Madrid, 1952, el latín *mol* tiene la acepción de peso; si bien los traductores de la versión latina de los *Principios* de Descartes que estoy usando, i.e. E. López y M. Graña, lo traducen como <masa>.

Segunda regla: Al igual que en la anterior, los dos cuerpos chocan frontalmente a la misma velocidad, pero en este caso B es un poco más grande que C; entonces, tras la colisión, C retrocede hacia el punto de donde procede y ambos cuerpos continúan juntos su movimiento hacia el lado izquierdo con la misma velocidad que tenían antes del choque (en *Principios de la filosofía*, 2:47).

(Esta regla es incorrecta, en primer lugar, porque en una colisión elástica, i.e. entre cuerpos duros, los cuerpos no quedan juntos tras el choque. En segundo lugar, en la versión latina, Descartes hace la sorprendente afirmación de que “la velocidad de B no se reduce” –ni siquiera como consecuencia del cuerpo C que viene en sentido contrario y que es casi de las mismas dimensiones. Así es que ambos cuerpos se mueven juntos a la misma velocidad que tenían inicialmente.

La solución correcta es que los cuerpos rebotan y B –i.e. el cuerpo ligeramente más grande- pierde velocidad mientras que C la gana. Lo que no veía Descartes es que aun cuando B tenga mayores dimensiones no por ello se debe despreciar la oposición de C.)

Tercera regla: Los cuerpos son del mismo tamaño y chocan frontalmente. En este caso B se desplaza a un poco más de velocidad que C. Como B es el cuerpo más veloz, arrastra consigo a C tras el choque, y le transfiere la mitad de la velocidad en que excede a C,¹¹ haciendo que la velocidad entre los dos cuerpos se iguale y que continúen moviéndose juntos hacia la izquierda (en *Principios de la filosofía*, 2:48).

¹¹ Esto es, la mitad de la diferencia entre la velocidad de C y de B.

(Esta regla es incorrecta porque –como ya se dijo a propósito de la regla dos- en una colisión elástica los cuerpos no quedan juntos tras el choque. Por otra parte, Descartes afirma –en la versión francesa- que “[puesto que B se desplaza con un poco más de velocidad que C] es más fácil que B comunique velocidad a C, de lo que sería que C cambiara el curso de todo el movimiento de B”. El asunto aquí, es que –al igual que en la regla dos- Descartes desprecia la oposición del cuerpo que él considera menos fuerte,¹² en este caso el de menor velocidad.

La solución correcta es que los cuerpos rebotan, y que sus velocidades finales son las mismas que las iniciales pero intercambiadas.)

Cuarta regla: C es algo mayor que B y está en reposo; entonces cualquiera que sea la velocidad con la que B se mueva hacia C, nunca lo moverá, sino que será rechazado por éste en sentido contrario (en *Principios de la filosofía*, 2:49).

(Esta regla es incorrecta porque si bien C es algo más grande que B, no es lo suficientemente mayor como para quedar totalmente estático tras la colisión; de hecho dadas las dimensiones relativas, entre los dos cuerpos, C sí se mueve aunque sea un poco. Por otra parte, B no retrocede con la misma velocidad que se desplazaba antes del choque, sino con una ligeramente inferior. Parece evidente, por tanto, que lo que Descartes tenía en mente, en

¹² “Con el fin de que podamos deducir (...) cómo cada cuerpo en particular aumenta o disminuye sus movimientos, o bien cómo modifica la determinación de su movimiento a causa del encuentro con otros cuerpos, solamente es preciso calcular cuánta fuerza hay en cada uno de estos cuerpos bien para mover o bien para resistir al movimiento, porque es evidente que el que posee mayor fuerza, siempre debe de producir su efecto e impedir el efecto del otro”. (Ver *Principios de la filosofía* (2:45), *op. cit.*, pp.104-105.)

esta ocasión, es el caso donde un cuerpo de cierta dimensión choca contra otro de dimensiones muy superiores, inamovible.)

Dado que, en la segunda parte de esta cuarta regla, en la versión latina, Descartes dice que: “un cuerpo opone más resistencia a una velocidad grande que a una pequeña, en proporción al exceso de una sobre otra” y que “por eso la fuerza de C para resistir siempre es mayor que la de B para empujar”; y en la versión francesa, dice que “B no podría impulsar a C sin hacerlo avanzar tan deprisa como él mismo iría después del choque –por lo que la resistencia de C ha de ser tanto mayor cuanto más deprisa se mueva B, y su resistencia debe prevalecer sobre la acción de B, puesto que es más grande en dimensiones”, algunos autores como Shea sostienen que esta regla implica que la materia se resiste al movimiento en sí; lo que iría en contra de la determinación que el mismo Descartes había tomado de desproveer a la materia de toda fuerza interna.¹³ Por otra parte, otros autores como Gabbey y Garber comparten la idea de que para Descartes el reposo tiene un estatus distinto al del movimiento y, que por tanto, parecería que el reposo es un estado privilegiado de la materia.¹⁴ Incluso se puede decir que para Koyré el reposo en Descartes tiene un estatus particular, pues siguiendo al mismo Koyré, el reposo cartesiano de un cuerpo, es una cantidad variable que se podría decir que está en función de la velocidad del cuerpo en movimiento que choca contra él.¹⁵

¿Cuál es la magnitud [de la fuerza del reposo] o, para decirlo en lenguaje cartesiano, su cantidad? Está claro –para Descartes al menos- que un

¹³ Ver W. Shea, *La magia de los números y el movimiento*, *op. cit.*, 416.

¹⁴ Ver D. Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, capítulo 6, *op. cit.*, pp.156-196 y A. Gabbey, “Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics”, *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2, 1971.

¹⁵ Ver Koyré, *Estudios galileanos*, *op. cit.*, p.326.

cuerpo dado es exactamente igual a la cantidad de movimiento que posee un cuerpo de *dimensiones iguales* que se mueve de una forma cualquiera con respecto al cuerpo en reposo (...) De aquí se deduce necesariamente que en una pareja de cuerpos, que estén uno en reposo y otro en movimiento, las relaciones de las fuerzas de reposo y movimiento serán las mismas que las de sus dimensiones. Por eso, cuando Descartes nos dice que, sea cual fuere la velocidad de un cuerpo pequeño que golpea a uno grande, nunca podrá ponerlo en movimiento.¹⁶

Y continúa diciendo Koyré:

Como bien se sabe, Galileo enseña por el contrario que, sea cual fuere el tamaño de un cuerpo en reposo, el cuerpo que lo golpea, por pequeño que sea, le confiere siempre un movimiento-, de ningún modo le induce a error el deseo de ajustarse a la experiencia (la bola que se lanza contra un muro rebota, mientras que, visiblemente, el muro no se mueve) –Descartes sabe perfectamente que el caso por él estudiado no se presenta *nunca* en la experiencia- sino que saca una conclusión inevitable de la concepción de movimiento. Y del reposo.¹⁷

Quinta regla: C sigue siendo el cuerpo en reposo pero ahora es algo menor que B; entonces B arrastrará a C y continuarán moviéndose juntos después del choque con la misma velocidad inicial de B (en *Principios de la filosofía*, 2:50).

(Esta regla es incorrecta, nuevamente en lo que se refiere a que los cuerpos se desplazan juntos después del choque, pues el supuesto de Descartes es un choque totalmente elástico.

Lo que sí es correcto es la afirmación de que todo cuerpo que choca con otro menor en reposo, sigue avanzando después del choque. De cualquier

¹⁶ *Ibid*, p.326. (Las cursivas son del autor.)

¹⁷ *Ibidem*, p.326. (Las cursivas son del autor.)

manera, la solución correcta es que, tras el choque, el cuerpo más grande continúa moviéndose en la dirección que llevaba, pero con menor velocidad que la inicial. El cuerpo, originalmente en reposo, se empieza a mover en la dirección del cuerpo que lo colisiona y obtiene una velocidad mayor que la de éste.)

Sexta regla: Nuevamente C es el cuerpo en reposo pero ahora tiene el mismo tamaño que B; entonces, tras la colisión, B le comunica un poco de velocidad a C –lo que hace rebotar a C. De acuerdo con Descartes –en la versión francesa- “es evidente que, puesto que los dos cuerpos son iguales, y por tanto no hay más razón para que B sea rechazado que para que impulse a C, debe producirse la parte correspondiente de estos dos efectos”, es decir, que B debe transmitir a C la cuarta parte de su velocidad y ser rechazado en sentido contrario, con la parte restante de velocidad (en *Principios de la filosofía*, 2:51).

(La solución correcta es que el cuerpo en movimiento se detiene al colisionar y el cuerpo, originalmente en reposo, se empieza a mover en la dirección y con la velocidad del cuerpo que entra. Esto es, los dos cuerpos intercambian sus velocidades, entre sí.)

Séptima regla: En esta regla Descartes analiza casos en los que los cuerpos (C y B) se mueven ambos en la misma dirección. Los casos de la versión latina son dos y los de la francesa son cuatro, pero las condiciones iniciales en ambos textos son las mismas, a saber, que B va detrás de C, que tiene una mayor velocidad y que, por tanto, alcanza a C. Las diferencias de los

cuatro casos están dadas por las relaciones que establece entre las distintas masas de C (que punto aparte, siempre son mayores que las de B) y las velocidades de B. (en *Principios de la filosofía*, 2:52).

(Los errores en los casos de esta regla son análogos a los de las reglas anteriores, por lo que ya no es interesante mostrarlos. Lo que sí es interesante es la conclusión que Descartes da al final de esta regla y la respuesta que Leibniz le da a propósito de esta conclusión.)

En la versión latina, Descartes termina el artículo 2:52, i.e. la séptima regla diciendo: “Del mismo modo se resuelven los demás casos. Y no es preciso probar esto porque es evidente por sí mismo”.¹⁸ Y el final de este mismo artículo, en la versión francesa, se lee: “Las demostraciones de todo esto son tan ciertas que aun cuando la experiencia nos pareciera mostrar lo contrario, sin embargo estaríamos más obligados a dar crédito a nuestra razón que a nuestros sentidos”.¹⁹

Descartes pretendía que esta conclusión no había sido extraída de la nada sino que estaba legítimamente justificada. La justificación aparece en el artículo siguiente, y en el afirma que la aplicación de dichas reglas resulta difícil a causa de que cada cuerpo es alcanzado por otros al mismo tiempo:

En efecto, frecuentemente sucede que la experiencia parece oponerse a las reglas que acabo de explicar; pero la razón de ello es evidente. Estas reglas presuponen que los dos cuerpos B y C son perfectamente duros y que están hasta tal punto separados de todos los otros cuerpos que no hay cuerpo alguno alrededor de ellos que pueda favorecer o impedir su movimiento; no son estos los cuerpos que nosotros vemos en este mundo. Ésta es la razón por la que antes de que se pueda juzgar si estas reglas se

¹⁸ Ver *Principios de la filosofía* en edición de E. López y M. Graña, *op. cit.*, p.110.

¹⁹ Ver *Principios de la filosofía* en edición de G. Quintás, *op. cit.*, p.109.

observan o no en este mundo, no basta con saber cómo dos cuerpos, tales como B y C, pueden obrar el uno sobre el otro cuando chocan entre sí; sino que es preciso, además de esto, considerar como todos los otros cuerpos que les rodean pueden aumentar o disminuir su acción.²⁰

Veamos ahora qué dice Leibniz acerca de esta justificación:

*Descartes reconoce que es difícil aplicar sus reglas, seguramente porque veía que eran completamente incompatibles con la experiencia. Ahora bien, tratándose de reglas verdaderas del movimiento, es admirable la coincidencia entre la razón y la experiencia, y los cuerpos circundantes no impiden que se cumplan las reglas verdaderas tanto como él parece temer, al haber previsto excepciones que le permitan justificarse. Es más, las reglas son confirmadas por las observaciones tanto más exactamente no sólo cuando los cuerpos son duros, sino también cuando son más grandes.*²¹

Así, a partir de esta presentación de las reglas de choque de Descartes, y de la respuesta que Leibniz le da a su justificación, se pueden ver varias de las razones por las que no sólo Leibniz sino también Newton le criticaron su noción de conservación de la 'cantidad de movimiento'. Algunas de estas críticas son adecuadas, pues parece un hecho claro que Descartes no fue muy cuidadoso al formular sus reglas; otras sin embargo, no lo son tanto, ya que tienen que ver con un desarrollo de la filosofía natural al que todavía no era dable que llegara Descartes.²²

²⁰ Descartes, *Principios de la filosofía* (2:53), *op. cit.*, pp.109-110.

²¹ Leibniz, *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos* art. 53, en Descartes y Leibniz, *Sobre los principios de la filosofía*, *op. cit.*, pp.173-174. (Las cursivas son mías.)

²² Grandes intérpretes de Descartes, como Koyré, afirman que "la física cartesiana, a diferencia de la de Galileo y la de Newton, no se plantea nunca la pregunta: ¿Cuáles son los modos de actuación que ha seguido efectivamente la naturaleza?. Se plantea, en cambio, la pregunta: ¿Cuáles son los modos de actuación que la naturaleza debe

Dentro de los errores imputables a Descartes en sus reglas está, en primer lugar, el hecho de que en su análisis de los choques no hace realmente una cuantificación del movimiento de los cuerpos tras la colisión, sino que da una explicación cualitativa de lo que debería suceder, según él, dadas las condiciones iniciales de los cuerpos. Esto le conduce a dos errores más, los cuales fueron puestos de manifiesto ya por Leibniz. Uno de ellos, que no considera la dirección y la velocidad conjunta de los cuerpos tras el choque. El otro, que a partir de variaciones mínimas en las condiciones iniciales supone grandes cambios en el movimiento que resulta al final.

Acerca de que Descartes no toma en cuenta que la dirección del movimiento y la velocidad son datos que se deben manejar conjuntamente, Leibniz, en su *Specimen Dynamicum* (1695), dice lo siguiente:

*Descartes distinguió correctamente entre velocidad y dirección y también vio que en la colisión de los cuerpos el estado que resulta es aquel en el que menos se cambian las condiciones iniciales. Pero no estimó correctamente este cambio mínimo, pues cambia ya sea la dirección o la velocidad únicamente, cuando el cambio total debe ser determinado por el efecto conjunto de éstas dos. No logró ver cómo esto era posible, debido a que no le pareció que dos cosas tan heterogéneas pudieran ser comparadas o tratadas simultáneamente —estando él comprometido con modalidades más que con realidades a este respecto.*²³

seguir?" (Koyré en *Newtonian Studies*, citado en Paolo Rossi, *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*, op. cit., 1998, p.117.) Lo que estos autores tratan de mostrar es que aún cuando Descartes proponía una física matemática, lo que hace es reducir los fenómenos físicos a consecuencias de sus propios principios metafísicos. Lo anterior es cierto, pero también es cierto que en su tiempo no era tan manifiesto que todas las explicaciones de la naturaleza tuvieran una base matemática. Ésta no estaba todavía ampliamente desarrollada, y de hecho él fue uno de los que contribuyera de manera importante a su avance—como se vio en 1.2.2.1.

²³ *Specimen Dynamicum* en *Leibniz: Philosophical Papers and Letters*. Edición de Leroy Loemker, Reidel Publishing, Dordrecht, p.439. (Las cursivas son mías.)

A propósito de la noción de velocidad de Descartes, es importante hacer un paréntesis y señalar que autores como Shea y Torretti hacen énfasis en que la velocidad cartesiana no es una magnitud vectorial y que por consiguiente de ello se derivan las dificultades en su formulación de las reglas de choque.²⁴ Supongo que la afirmación de estos autores está basada en la crítica que, en el *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, Newton le hace a Descartes respecto a que en su sistema no se puede hablar de velocidad debido a la relatividad del movimiento –lo que se vio en 2.2. Sin embargo, quizá podría aventurarse la hipótesis de que Descartes no toma en cuenta la dirección, pues ésta a veces resulta negativa tras la colisión de los cuerpos; y de acuerdo con dos historiadores de la matemática, Dirk Struik y William Dunham, en el siglo XVII había una cierta aversión a las cantidades negativas. Por ejemplo, Struik dice:

[En el siglo XVIII] todos los autores vacilaron en aceptar valores negativos para las coordenadas. El primero en trabajar libremente con ecuaciones algebraicas fue Newton en su estudio de las curvas cúbicas (1703).²⁵

Asimismo, Dunham dice algo muy parecido:

En esos días los ejes $[x,y]$ no siempre eran dibujados de manera perpendicular. Algunas veces el eje de las 'ys' ni siquiera se dibujaba; y la aversión a los negativos siempre confinaba el trabajo a la región superior-derecha del plano, i.e. al llamado primer cuadrante, donde las coordenadas 'x' y 'y' son positivas (...) [Fue Newton, quien hizo una contribución significativa a la geometría analítica] que en su *Enumeratio linearum tertii*

²⁴ Ver *La magia de los números y el movimiento op.cit.* p.414 y *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, E.U.A., 1999, p.20, respectivamente.

²⁵ D. Struik, *Historia concisa de las matemáticas*, IPN, México, 1998, p.144.

ordinis, escrito en 1676 y finalmente publicado (después de una típica dilación newtoniana) en 1704, introduce, analiza y meticulosamente grafica 72 tipos de ecuaciones de tercer grado.²⁶

Ahora vayamos al segundo error que se desprende de las reglas de choque cartesianas.

La crítica de Leibniz a Descartes respecto a que supone efectos muy distintos de las colisiones con tan sólo variaciones mínimas de las condiciones iniciales de los cuerpos, la había expuesto antes que la de la velocidad, en un opúsculo de 1692 –dedicado al análisis de las primeras dos partes de los *Principios de la filosofía*:

Quando dos datos o dos cosas que se suponen diferentes se aproximan continuamente entre sí, hasta que una llega a ser como la otra, es preciso que las consecuencias o efectos de ambas se aproximen también continuamente entre sí, hasta que los unos coincidan con los otros (...) En geometría cabe hallar multitud de ejemplos semejantes.²⁷

Y en relación con esto último dirá poco más adelante:

De qué modo, la línea que representa la variación de los efectos debe responder a la que representa la variación de los supuestos o hipótesis, y cómo de las reglas cartesianas resulta una delineación de los efectos monstruosa e incoherente.²⁸

²⁶ W. Dunham, *The Mathematical Universe*, John Wiley and Sons, E.U.A., 1994, p.276. (Las cursivas son del autor.)

²⁷ Leibniz, *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*, *op. cit.*, p.163.

²⁸ *Ibid*, p.165.

Lo que Leibniz muestra en este opúsculo es en esencia lo mismo que he presentado en relación con los errores que Descartes comete al 'cuantificar' los choques; de cualquier manera veamos algo más de esta crítica en palabras del mismo Leibniz:

Según la 1ª regla, si B y C son iguales y chocan entre sí con velocidades iguales, ambos serán rechazados con la misma velocidad que tenían. Y si la velocidad de C disminuye continuamente, permaneciendo igual la de B, es necesario que B sea rechazado con menos intensidad y, por consiguiente, C con más que antes, porque uno debe ganar tanta velocidad como pierde el otro. Después, si la velocidad de C continúa disminuyendo hasta quedar en reposo, entonces hay que averiguar cuánto ha disminuido la velocidad de B al ser rechazado. Según la presente regla de Descartes [esto es, la 6ª], solamente la cuarta parte de la velocidad. Ahora bien, a continuación disminuimos un poco la masa del cuerpo que reposa, es decir de C; entonces por la regla precedente [esto es, la 5ª], B seguirá avanzando; por lo tanto, un cambio mínimo en los datos supone un cambio enorme en los efectos, es decir, una especie de salto, pues cuando C estaba en reposo y era igual que B, éste era rechazado a una gran velocidad, mientras que ahora al disminuir sólo un poco la masa de C, se produce de repente la total desaparición del rechazo, y lo que es más, la conversión de éste en su contrario, es decir, en un avance, saltando por encima de los casos intermedios, lo cual es absurdo.²⁹

Ahora bien, no obstante esta segunda crítica de Leibniz a Descartes, se puede decir algo a favor de este último, y es la intuición correcta de que algo se conserva en la naturaleza (como lo presenté al inicio de este capítulo). Esta intuición cartesiana ha sido por demás importante para el desarrollo de la física, no sólo la clásica sino también la moderna.

²⁹ *Ibid*, p.171.

Pero entonces, ¿cuál es realmente el problema con la ‘conservación de la cantidad de movimiento cartesiana’?

El problema es que, los choques se pueden examinar en términos de la cantidad de movimiento –si se considera un sistema aislado, y por sencillez considerar los choques como unidimensionales,³⁰ pero para hacer un análisis completo de éstos se necesita tomar en cuenta asimismo la conservación de la energía (cinética).³¹ Esto último es algo que no era posible en el estadio en el que estaba la filosofía natural de Descartes. De hecho Leibniz, quien de esa época es el que más se acerca a este concepto con su noción de fuerza motriz (más tarde *vis viva*), no llegaría a ella sino hasta 1686, esto es, 36 años después de la muerte de Descartes.

Sin embargo, no se puede pasar por alto el error de Descartes en lo que concierne a las reglas de choque, y es que para decir que se conserva la cantidad de movimiento (esto es, que es la misma antes y después del choque) es indispensable tomar en cuenta no sólo la rapidez inicial de los cuerpos sino asimismo la dirección final.

³⁰ Recordar que estos son los supuestos de los que parte Descartes para formular sus reglas (*Principios de la filosofía* 2:45).

³¹ Con base en lo que sucede a la energía cinética total, se pueden definir dos tipos de choques: elásticos (como los supone Descartes en su análisis) e inelásticos. En un choque elástico la cantidad de movimiento se conserva y la energía cinética total de los cuerpos del sistema después del choque es igual a su energía cinética total antes del choque. Puede intercambiarse energía cinética entre los cuerpos del sistema, pero la energía cinética total del sistema permanecerá. / En un choque inelástico (tomado como un sistema aislado, asimismo), la cantidad de movimiento se mantiene constante (al igual que en los choques elásticos) mientras que la energía cinética cambia (disminuye). En este caso, una parte de la energía cinética se invierte en el trabajo efectuado (la distancia recorrida cuando se le aplica una fuerza) para deformar permanentemente los cuerpos. Otra parte, puede invertirse para efectuar trabajo contra la fricción (produciendo calor), o la puede perder de alguna otra manera (v.g. generando sonido). (Los términos técnicos que he usado, como energía cinética, ‘trabajo’, ‘momento lineal’ o ‘fuerza’ serán definidos con mayor precisión *infra*; en el desarrollo de los temas por exponer dichos términos técnicos son fundamentales.)

Otra cuestión: si bien efectivamente se puede decir que la cantidad de movimiento se conserva, no se conserva la cantidad total en el universo (como pensaba Descartes). Únicamente se conserva el *momento lineal*, esto es, la cantidad de movimiento en un plano horizontal. Esto lo mostró Leibniz, y he aquí algo de lo que dice al respecto:

Es muy célebre la proposición cartesiana de que en las cosas se conserva siempre la misma cantidad de movimiento. Sin embargo, nadie la ha demostrado (...) Si es preciso que se conserve la cantidad de movimiento, es evidente que la cantidad de fuerza no puede conservarse siempre, porque la cantidad de movimiento es el producto de la masa por la velocidad, mientras que la cantidad de potencia es el producto de la masa por la altura a la que puede ser elevado un grave por la fuerza de la potencia; y la altura equivale al cuadrado de la velocidad del cuerpo que se eleva. Por lo demás, se puede establecer esta regla: se conserva la misma cantidad tanto de fuerza como de movimiento cuando los cuerpos se mueven en el mismo sentido antes y después del choque, así como cuando los cuerpos que chocan son iguales.³²

Puesto de otra manera, la cantidad de movimiento se conserva en la dirección horizontal, porque en ella no actúan fuerzas externas. (Lo que actualmente se explica con la Primera ley de Newton.) De ahí que, la cantidad de movimiento de un cuerpo que se mueve en una dirección vertical, v.g. cuando cae, no se conserva, pues la gravedad que jala al cuerpo hacia el

³² Leibniz, *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*, *op. cit.*, pp.153 y 157. La misma explicación acerca de cuándo se conserva la cantidad de movimiento la presenta en otros tres escritos, además de éste de 1692. Los escritos son: *Breve demostración del error memorable de Descartes y otras demostraciones concernientes a la ley natural* (1686), *Specimen Dynamicum* (1695), un suplemento de la obra anterior que redactó como respuesta a las réplicas de dos cartesianos, y *Discurso de metafísica* (1686). Sin embargo, lo único que apareció publicado durante su vida fue la *Breve demostración del error...* y la primera parte del *Specimen*. Lo que Leibniz entendía por fuerza es lo que actualmente se conoce como 'trabajo' en física, pero el origen de este término se debe a Coriolis (1792-1843). (Ver E. Mach, *The Science of Mechanics*, The Open Court, Illinois, 1960 (1893), p.360.)

centro de la Tierra es una fuerza externa. (Como se explica con la Ley de la gravitación universal de Newton.) Pero, nuevamente, esto es algo a lo que no era posible que llegara Descartes debido a su marco conceptual –en el que no se aceptan fuerzas externas.

A partir de esta última cita que transcribo se pueden apreciar dos cuestiones importantes, además de la confirmación de que para Leibniz lo que se conserva es el *momento lineal*. Una de ellas es sus nociones de fuerza y de potencia, que corresponderían a lo que actualmente se conoce como energía cinética (o su equivalente el ‘trabajo’) y energía potencial respectivamente. La otra cuestión, que pone a contender a la fuerza y la cantidad de movimiento por la victoria de ser lo que se conserva. Leibniz dirá que lo que se conserva es la ‘fuerza’ como a continuación presento:

Descartes y otros hábiles matemáticos creían que la cantidad de movimiento, es decir, la velocidad multiplicada por la masa del móvil, conviene enteramente con la fuerza motriz, o hablando en términos geométricos, que las fuerzas están en razón compuesta de las velocidades y de los cuerpos, y por lo tanto, que es muy racional que la misma fuerza se conserve siempre en el universo. Y así cuando llega el caso de fijarse en los fenómenos, se ve claramente, que el movimiento perpetuo mecánico no tiene lugar; porque entonces la fuerza de una máquina, que es siempre algo disminuida por la fricción, y debe concluir bien pronto, se repararía, y por consiguiente se aumentaría de suyo sin ningún nuevo impulso exterior: y se observa también que la fuerza de un cuerpo no se disminuye sino a medida que tropieza con algunos cuerpos contiguos o con sus propias partes en tanto que tengan un movimiento independiente. *Y así han creído que lo que se puede decir de la fuerza, se podía decir también de la cantidad de movimiento.*³³

³³ Leibniz, *Discurso de Metafísica*, Porrúa, México, 1977, p.19. (Las cursivas son mías.)

Ahora bien, llegados a este punto es importante hacer una especificación de qué entienden por fuerza los autores tratados y cómo pensaban que ésta se debía cuantificar, lo que presento en el capítulo a continuación.

Capítulo 4. LA MEDIDA DE LA FUERZA

Au lieu de [la] quantité de mouvement, M. Leibnitz mettoit la force (...) Sur ce principe il prétendoit établir une nouvelle dynamique, ou science des forces; et il soutenoit que de celui de Descartes s'ensuivoit la possibilité du mouvement perpétuel artificiel, ou d'un effet plus grand que sa cause; conséquence qui ne se peut digérer ni en mécanique, ni en métaphysique.¹

Fontenelle

En este capítulo presento una reconstrucción de los conceptos de fuerza a los que Descartes, Newton y Leibniz llegaron, a partir de lo que cada uno creía que era la 'medida de la fuerza', y la controversia que este tema originó.² En la última parte del capítulo se verán los casos de dos interpretaciones equidistantes sobre la cuestión: el de la Marquesa del Châtelet y el de D'Alembert.

Para hacer la reconstrucción de la 'fuerza' de estos autores de los siglos XVII y XVIII, he dejado un poco de lado la visión filosófica y me he aproximado más a la física, con el fin de entender desde la Mecánica Clásica³ lo que dichos

¹ *Éloge de Leibnitz* (1716) en *Choix d'éloges français le plus estimés par M. de Fontenelle*, p.135, (<http://gallica.bnf.fr>).

² El tema de las *fuerzas*, en los siglos XVII y XVIII era sumamente importante, pues se creía que ellas eran el sostén y el fundamento del movimiento en todas sus formas.

³ Para el estudio de los conceptos de la mecánica clásica que trataré, me he basado en textos de física y en dos clásicos, uno de Maxwell (1831-1879), *Materia y movimiento* y el otro de Mach (1838-1916), *The Science of Mechanics*.

filósofos naturales veían en los cuerpos en movimiento y por ende su explicación de la 'fuerza'.⁴

En el *PUF Dictionnaire européen de lumières*, P. Radelet-de Grave tiene un pequeño artículo: "FORCE [Lat. vis, potentia ; All. Krafft (*sic*); Angl. Force, strength; It. Forza]",⁵ en el que habla de que la obra del Siglo de las Luces era distinguir y precisar las nociones de fuerza, cantidad de movimiento o momento e impulso, para darles una expresión matemática y poder cuantificarlas.⁶

Este artículo es interesante no tanto porque en él Radelet afirme que durante la época de las 'Luces' el vocabulario concerniente a la 'fuerza' no había sido fijado, pues esto es evidente para los que trabajamos estos temas; sino porque plantea que para entender por qué dicho vocabulario no había sido acordado, conviene tomar en cuenta los términos latinos, *vis*, *virtus*,⁷ *momentus* y *potentia*. Otro cuestión interesante de este artículo es que nos hace ver que una de las razones principales por las que no se tenía precisado el concepto de fuerza, era la ambigüedad que había con relación a los parámetros bajo los cuáles se debía cuantificar la fuerza que se aplicaba a las 'máquinas simples'⁸, las cuales se usan (incluso hoy) para desplazar (mover) cuerpos pesados. Dicho a la manera en que aparece en los textos filosóficos, el

⁴ Debido a que en esta ocasión voy a tratar el tema de las fuerzas desde una perspectiva más cuantitativa que cualitativa, no trataré el problema de la naturaleza de las fuerzas, i.e. de su origen, que es la otra parte de mi investigación.

⁵ (www.google.com -enero2005)

⁶ El término 'cantidad de movimiento' se debe a Descartes (en *Los Principios de la Filosofía*, ver Mach en *op. cit.*, p.360) y el de 'momento' a Galileo (ver. R. Westfall en los apéndices de *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, p.527). Es importante señalar, sin embargo, que dichos términos, no se corresponden totalmente con las cantidades físicas actuales bajo esos nombres.

⁷ En mi apreciación, la diferencia genérica entre *vis* y *virtus*, es que la *vis* tenía un sentido de fuerza mecánica (como la conocemos actualmente) y la *virtus* tenía un cierto carácter espiritual y/o material. (Para una explicación un tanto más detallada de esta cuestión, ver el *apéndice 3* al final de este trabajo.)

⁸ Las máquinas simples son cinco: la polea, el polipasto, el plano inclinado, la palanca y el torno.

problema en ese tiempo, era el de cómo medir lo que ellos llamaban la ‘fuerza de movimiento’.

Lo anterior resulta esclarecedor porque la concepción que estos autores tenían de la ‘fuerza de movimiento’ sigue siendo un tema de discusión. Uno puede leer más de veinte veces que Leibniz decía que la ‘fuerza’ es la fuerza de los cuerpos en movimiento, y que Descartes creía que la ‘fuerza’ era la cantidad de movimiento de los cuerpos; mientras que Newton decía que la ‘fuerza’ es lo que cambia la cantidad de movimiento. En suma, uno sólo recuerda que ha leído los términos fuerza y movimiento relacionados, pero sin entender claramente cómo es que lo están en estos autores. Para complicar más la situación, está el hecho de que a lo que entonces se llamaba fuerza (“ese término oscuro de fuerza”, nombrado así por D’Alembert –en su *Tratado de Dinámica* (1743 y 1758)) puede designar, asimismo, nuestro actual trabajo o energía,⁹ e incluso potencia.¹⁰ Esto último y la imagen de las ‘máquinas simples’ muestran que para poder entender bien el concepto de ‘fuerza de movimiento’ hay que hacerlo desde las nociones más básicas.

Todos los conceptos mecánicos (o cantidades) de la física clásica derivan de sólo tres conceptos fundamentales: longitud [espacio, distancia], masa y tiempo. Éstas son las únicas bases que se necesitan para entender –desde la física- qué es la ‘fuerza’ para cada uno de los filósofos naturales mencionados, pero eso no es todo, también con estas mismas bases se puede ver por qué cada uno la midió de distinta manera.

⁹ El uso del término energía, en un sentido preciso y científico, para expresar la cantidad de trabajo que puede hacer un sistema material, fue introducido por Young a principios del siglo XIX. (Ver J. Maxwell, *Materia y movimiento*, IPN, México, 1998 (1877), p.135.)

¹⁰ La ‘potencia’ es la cantidad de trabajo realizado en un intervalo determinado de tiempo.

Para introducir el tema de la ‘fuerza’ desde esta perspectiva de la física, comienzo diciendo que para Descartes la fuerza era equivalente a la cantidad que hoy llamamos momento lineal, de ahí que la ‘fuerza’ para él fuera $F = mv$, (o dicho en palabras: el producto de la masa por la velocidad).¹¹ Para Leibniz, la ‘fuerza’ era algo similar al concepto actual de energía cinética $T = \frac{1}{2}mv^2$, pero también relacionado con la energía potencial¹² $E_p = mgh$ y, por ello muy cercano a lo que llamamos trabajo $W = Fxd$ (el producto de la fuerza por la distancia), debido a que la energía es la capacidad de producir trabajo. Pero, por motivos de simplificación, bástenos retener la notación compacta de la fuerza leibniziana, esto es, Σmv^2 (la suma de las fuerzas vivas, que era el producto del momento de cada cuerpo por su velocidad).¹³ Finalmente, para Newton la ‘fuerza’ era equivalente al impulso, i.e. lo que produce el cambio en la cantidad de movimiento o momento $F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$.¹⁴

La razón de poner las nociones de ‘fuerza’ de estos autores en notación compacta es porque, a partir de ellas, se puede ver algo muy interesante, que es, que si bien todos estos conceptos mecánicos (cantidades físicas) tienen distintos sentidos –debido a su planteamiento–, resultan ser equivalentes entre sí. Ahora bien, ‘distintos sentidos’ significa que estos filósofos naturales medían la fuerza, o bien tomando como parámetro el tiempo, o bien, tomando el

¹¹ Para estas afirmaciones ver Descartes, *Principios de la filosofía* (2:43), en edición de Guillermo Quintás, *op. cit.*, pp.103-104.

¹² El concepto de ‘energía potencial’ apareció hasta la segunda mitad del siglo XIX. De cualquier manera, Leibniz se refiere implícitamente a ese concepto al decir que la ‘fuerza’ para subir una libra a 4 pies es la misma que para subir 4 libras a un pie. (Ver *Breve demostración del error memorable de Descartes*.)

¹³ Para estas afirmaciones ver Leibniz, *Specimen Dynamicum* (primera parte), *op. cit.*, pp.435-444.

¹⁴ Para estas afirmaciones ver Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Ley II, *op. cit.*, p.41-42.

espacio como parámetro. Dicho de otro modo, estos autores daban su 'medida de la fuerza' en función del tiempo durante el cual aplicaban dicha fuerza para que el cuerpo se moviera, o en función de la distancia que un cuerpo recorría al aplicarle la fuerza. Y la razón de que estos conceptos mecánicos sean equivalentes entre sí, es que pueden derivarse unos de otros.

Quizá pueda verse de manera más intuitiva por qué estos conceptos mecánicos aunque sean distintos, son equivalentes, si nos trasladamos ahora a la filosofía y vemos que quienes medían la 'fuerza' en función del tiempo, lo que estaban determinando era la *causa* del movimiento, mientras que los que medían la 'fuerza' en función del espacio, lo que determinaban es el *efecto* de la fuerza. (Esto es, la *causa* del movimiento es la fuerza y el *efecto* de la fuerza es el movimiento.) Con lo que si bien causa y efecto tienen diferentes sentidos: uno habla del inicio de un fenómeno y el otro habla del resultado del fenómeno,¹⁵ estos son equivalentes, porque bien es sabido filosóficamente que el efecto no puede exceder la causa.; así el efecto es –o al menos debe ser– proporcional (equivalente) a la causa.

Una vez visto qué es la 'fuerza' para cada uno de los autores citados, veamos por qué ésta era, para ellos, lo que era.

4.1 Descartes y la conservación de la cantidad de movimiento

Como he expuesto *supra*, para Descartes 'la medida de la fuerza' era la cantidad de movimiento; y debido a que Descartes creía que la cantidad de

¹⁵ En este caso, el fenómeno es el movimiento. El inicio o causa del fenómeno es el tiempo de aplicación de la fuerza, lo cual en física clásica es el impulso (Ft). Y el efecto de este fenómeno es la distancia recorrida por el cuerpo debido a la fuerza aplicada (Fd), lo que en el lenguaje de la física es el trabajo.

movimiento había sido impuesta a la materia en el mismo instante en que Dios la creó, la fuerza debía ser entonces proporcional a la cantidad total de movimiento en el mundo.

Supongamos que Dios [al comenzar a mover la materia] la divide verdaderamente en muchas partes determinadas (...) Pensemos que toda la distinción que hace ahí, consiste en la diversidad de los movimientos de 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.¹⁶

Debido a esto, Descartes llegó a resultados contra-intuitivos en sus reglas de choque, como es el caso de la regla cuatro, donde afirma que un cuerpo C si está en reposo y es algo mayor que B entonces cualquiera que sea la velocidad con que B se mueva hacia C, nunca moverá a C (PF 2:49). Cuando Galileo ya había verificado con experimentos que un cuerpo (elástico) en reposo es puesto en movimiento por otro más pequeño que acabe de chocarlo.¹⁷ (Y hoy día, es un hecho trivial que si un cuerpo B en movimiento choca con un cuerpo C en reposo; no obstante que C sea un poco más masivo, será movido por B, o al menos será alterado en su equilibrio.)

La razón de que Descartes llegara a este resultado un tanto contra-intuitivo o “completamente incompatible con la experiencia”, como diría Leibniz en sus *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*,¹⁸ es que Descartes no era consciente de que en todos los casos

¹⁶ *El Mundo o Tratado de la luz*, capítulo VIII. Edición de Laura Benítez, UNAM, México, 1986, p.95.

¹⁷ Ver D. Papp, *Historia de la física*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1945, p.70.

¹⁸ Ver *Observaciones críticas...*, *op. cit*, p.173.

de colisiones (elásticas o inelásticas) el momento, ie. la cantidad de movimiento solamente se transfiere o se redistribuye sin pérdida ni ganancia, sin importar el tamaño de los cuerpos ni la velocidad que éstos lleven. Pero, como Leibniz decía en 1686 en su *Breve demostración del error memorable de Descartes*; Descartes confundió la ‘fuerza de movimiento’ con la cantidad de movimiento; por lo que para no alterar o conservar (como se quiera ver) esta ‘fuerza de movimiento’ lo que hace es no estimar los cambios mínimos, y sólo hace el cambio de rapidez o el de dirección.¹⁹

4.2 Leibniz y la conservación de la fuerza viva

Para Leibniz ‘la medida de la fuerza’ era la conservación de la *fuerza viva*.²⁰ Esta *fuerza viva*, dicho de manera simplificada, era la fuerza poseída por los cuerpos en movimiento. Actualmente esta fuerza es en cierto grado, lo que se conoce como <energía cinética>, y digo en cierto grado, porque nuestra <energía cinética> equivale a tan sólo $\frac{1}{2}$ de lo que él estableció como ‘fuerza de movimiento’.

De acuerdo con Leibniz, en su *Breve demostración del error memorable de Descartes*, la cantidad de movimiento no puede ser la medida de la fuerza

¹⁹ Algunos estudiosos de Descartes como v.g. Torreti o Shea, sugieren que uno de los problemas de la física cartesiana y por ende, para las reglas de choque es que el momento cartesiano es una magnitud escalar, puesto que para Descartes no existe la velocidad, sino tan sólo la rapidez. Sin embargo Leibniz en su *Specimen Dynamicum* (1695), dice que Descartes si distinguió entre velocidad (rapidez) y dirección, sólo que como acabo de mencionar arriba, no estimaba los cambios mínimos (ver *op. cit.*, p.439).

²⁰ El término *fuerza viva* no aparece en la versión original de la *Breve demostración del error memorable de Descartes*, sino hasta que fue añadido el suplemento de este escrito, i.e. el *Specimen Dynamicum*.

como Descartes pretendía, puesto que en las colisiones ésta es una magnitud, según el mismo Leibniz, no se conserva siempre.

Ahora bien, para entender por qué Leibniz establecía las cosas de esta manera, si bien hoy sabemos que la cantidad de movimiento es una cantidad que sí se conserva, es importante saber que él medía la fuerza en función de la velocidad $v = \frac{d}{t}$ (la distancia recorrida en una unidad de tiempo); y la medía de esta manera porque al trabajar con 'máquinas simples' (estos artefactos que ayudaban y ayudan a mover cuerpos pesados) se dio cuenta de que un cuerpo B a gran velocidad era capaz de "transferir" más movimiento a un cuerpo C que cuando este cuerpo B iba a menor velocidad.²¹ Así en la misma obra de la *Breve demostración del error memorable de Descartes*, se lee:

Hay una gran diferencia entre la fuerza de movimiento y la cantidad de movimiento, y la una no puede ser calculada en términos de la otra. Por lo que parece que la fuerza debe ser estimada por la cantidad del efecto que puede producir y no sólo por la velocidad que pudiera imprimir a un cuerpo (...) Por tanto, no es sorprendente que las fuerzas de dos cuerpos iguales sean proporcionales no a sus velocidades sino a las causas o efectos de la velocidad, o al cuadrado de sus velocidades. Se sigue entonces que cuando dos cuerpos colisionan, lo que se conserva tras la colisión no es la misma cantidad de movimiento o ímpetus, sino la misma cantidad de fuerza.²²

Termino este apartado de Leibniz citando el punto de vista de D. Papp sobre esta controversia acerca de lo que debía ser 'la medida de la fuerza'. Esto es, que a pesar de la victoria de Leibniz sobre Descartes en el problema

²¹ Si se observa, este planteamiento, es totalmente opuesto al planteamiento de la regla cuarta cartesiana.

²² Ver *Philosophical Papers and Letters*. Edición de Leroy Loemaker, Reidel, Dordrecht-Boston, pp.296-302.

de *aquel algo* que se conserva en las metamorfosis mecánicas, su discusión sobre 'la verdadera medida de la fuerza' era –lo sabemos desde D'Alembert– batallar con molinos de viento.²³ El desacuerdo que tenía Leibniz con Descartes era, quizá sin darse clara cuenta, sobre la alternativa de si la fuerza o más correctamente 'la capacidad de acción' de un móvil- ha de medirse por el tiempo empleado (Ft) o por el camino recorrido (Fd); en otras palabras si la naturaleza trabaja en función del *tiempo* [como lo vería Newton] o en función del *espacio*, como lo sostuvo Leibniz. Las dos proposiciones, como ya se ha mencionado, se equivalen, a pesar de tener distintos sentidos. Al multiplicar la fuerza por el tiempo, se obtiene el 'impulso' [newtoniano], $Ft = \Delta(mv)$, i.e. el cambio en la cantidad de movimiento. Multiplicando la fuerza por el espacio obtenemos Fd , esto es, el 'trabajo' que es lo que cambia las condiciones cinéticas de un cuerpo, o dicho en términos leibnizianos, la *fuerza viva*.²⁴

Lo interesante de este punto de vista de Papp, es que ilustra claramente la razón de por qué no les resultaba fácil, a los autores que se han visto, precisar la 'medida de la fuerza' y por ende, mucho menos fijar una noción de *fuerza* que fuera unívoca. Si bien, como sabemos, históricamente el crédito de haber podido dar con la intuición correcta de cómo medirla, es de Newton.

4.3 Newton y el impulso o el cambio en la cantidad de movimiento

Newton al igual que Leibniz o Descartes, se dio cuenta que cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo éste cambia de velocidad, así como el hecho de que entre mayor sea la fuerza aplicada, mayor será el cambio de la velocidad y,

²³ Ver el Prefacio al *Tratado de Dinámica*.

²⁴ Ver D. Papp, *Historia de la física*, *op.cit.*, p.71.

por tanto, el cambio en el momento. Sin embargo a diferencia de Descartes o de Leibniz, la intuición correcta que tuvo Newton es que el tiempo durante el cual se ejerce la fuerza es lo importante para cuantificar el cambio de momento.

El cambio de movimiento 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 impresa es entera y a la vez, como si lo es gradual y sucesivamente²⁵

Esto es, si se aplica una fuerza durante un breve intervalo de tiempo, el cambio en el momento será pequeño; pero si se aplica la fuerza durante un intervalo mayor, el cambio en el momento será mayor. De ahí que, Newton expresara originalmente su segunda ley del movimiento en términos de cantidad de movimiento más que de aceleración.²⁶

Ahora bien, la relación de la cantidad de movimiento (momento) con la fuerza (en términos de aceleración) se puede apreciar partiendo de $F = ma$ y usando $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Con todo y que Newton encontró la manera correcta para 'medir la fuerza', la controversia acerca de las 'fuerzas' no terminó con él, sino que tomó otro cauce y se convirtió en lo que se conoce como la polémica de las *fuerzas vivas*.

²⁵ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Ley II, *op. cit.*, p.41. (Las cursivas son mías.)

²⁶ La formulación de la segunda ley en términos de aceleración, esto es, como $F = ma$ es de Euler (1707-1783).

Una disputa que, en este caso, giraría en torno a si lo que se debía considerar eran los efectos de la *vis viva* (mv^2) o, la cantidad de movimiento (mv).²⁷

Un motivo fundamental para que se diera la controversia se debió a que, como Leibniz mismo sabía, la *vis viva* no era una cantidad que se conservara totalmente en la colisión de cuerpos inelásticos:

No todos han aceptado la proposición que me parece cierta: que el rebote y la reflexión de los cuerpos sólo resulta de la fuerza elástica, de la resistencia que ofrece un movimiento interno.²⁸

El problema con este detalle era que, al parecer, después de la contienda entre Leibniz y los cartesianos²⁹ no se había logrado llegar a la verdadera 'medida de la fuerza'.

Irónicamente, una de las razones por las que la *vis viva* no se conservaba en todos los casos tiene relación con algo establecido por Newton. De acuerdo con su tercera ley, siempre que se aplica una fuerza a un cuerpo, éste a su vez responde con otra, que es de igual intensidad pero en sentido contrario.

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.

Cualquier cosa que arrastre o comprima a otra cosa es igualmente arrastrada o comprimida por esa otra. Si se aprieta una piedra con el dedo, el dedo es apretado también por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada a una cuerda, el caballo (por así decirlo) será también

²⁷ La separación que hago entre el problema de 'la medida de la fuerza' y el de las *fuerzas vivas* se puede encontrar, asimismo, en E. Mach, *The Science of Mechanics*, *op. cit.*, p.365.

²⁸ Leibniz, *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, p.440.

²⁹ Una buena parte de la crítica que Leibniz hace en contra de la conservación de la cantidad de movimiento la dirige a Descartes; sin embargo, en su tiempo había muchos cartesianos que debatían con él.

arrastrado hacia atrás: la cuerda distendida, debido al esfuerzo mismo por relajarse, arrastrará al caballo hacia la piedra tanto como la piedra hacia el caballo.³⁰

Esta fuerza, que se la conoce como de reacción, siempre está presente y es aquella que en vez de provocar el movimiento, o mejor dicho, el cambio de estado, tiende a impedirlo.

Para entender cómo este tipo de fuerza está relacionada con la conservación de la energía cinética, retomemos el ejemplo que Newton da de la piedra y el caballo. En este ejemplo existen tres pares de fuerzas: el primero, las que se ejercen por el caballo sobre la piedra y la piedra sobre el caballo; el segundo, las ejercidas por el caballo sobre el suelo y las del suelo sobre el caballo (al empujarse el uno al otro); y tercero, la fuerza entre la piedra y el suelo. Ahora bien, lo que nos interesa en este caso, son los dos últimos pares de fuerzas, que tienen que ver con lo que se conoce como *fricción* (fuerza de). Esto es, la resistencia al movimiento cuando dos superficies están en contacto. Regresemos al ejemplo del caballo y la piedra.

En el primer par de fuerzas, la reacción que la piedra ejerce sobre el caballo lo arrastra hacia atrás y, por tanto, le impide moverse libremente hacia adelante. ¿Cómo puede entonces el caballo moverse totalmente hacia adelante? Por medio de una interacción con el suelo. Al empujar el suelo hacia atrás, éste empuja al caballo hacia delante (segundo par de fuerzas). Si la fuerza con que el caballo empuja el suelo es mayor que con la que tira de la piedra, habrá una fuerza total sobre el caballo y podrá acelerar. Cuando la piedra alcanza una velocidad constante, el caballo sólo tiene que empujar el

³⁰ Newton, *Principios de la filosofía natural*, Ley III, *op. cit.*, p.42. (Las cursivas son mías.)

suelo con una fuerza suficiente para vencer la *fricción* entre éste y la piedra. Pero esto es sólo una parte del relato, i.e. lo relacionado con las fuerzas de acción y reacción de Newton, y la causa de la *fricción*. Lo concerniente a la conservación de la *vis viva* tiene que ver con el hecho de que, v.g. cuando las patas del caballo ejercen fuerza sobre el suelo a fin de desplazarse hacia adelante, la resistencia que éste les opone hace que se genere calor o incluso que se le rompa alguno de los cascos. La mayor parte de la energía cinética (energía de movimiento) se pierde por la fricción de la piedra con el suelo, y el resto por la fricción de los cascos. Como resultado, se calientan los cascos y la piedra.³¹ Otra pequeña parte se pierde en la cantidad de trabajo realizada al deformar permanentemente el casco, y otra más en el sonido que se produce por el impacto de las patas con el suelo.

4.4 La polémica de las *fuerzas vivas*

En esta sección se verá la defensa que la Marquesa del Châtelet (1706-1749) hace de la *vis viva* leibniziana. Asimismo, se verá la participación D'Alembert en la polémica de las *fuerzas vivas*.

4.4.1 El sendero de la polémica

Entre los varios caminos que siguió la controversia de las *fuerzas vivas*, equiparables al número de autores que participaron en ella, hay dos que son centrales: el de la Marquesa del Châtelet y el de D'Alembert.

³¹ En 1798, Benjamín Thompson, Conde de Rumford (1753-1814), notó que en el barrenado de cañones se producían grandes cantidades de calor debido a la fricción y mostró que existe una relación cuantitativa entre el calor producido y el trabajo invertido en taladrar.

En el año 1740, Emilie de Breteuil publicó su libro *Institutions de Physique*. En él dedica, como es de suponerse, una muy buena parte a la cuestión de las 'fuerzas'. El libro es interesante porque, además de hacer una entusiasta defensa de la *vis viva* de Leibniz, la *vis viva* le servirá para mostrar por qué (supuestamente) Newton se vio obligado a concluir que la cantidad de movimiento en el Universo eventualmente cambiaría.³²

Si bien la autoridad no debe tomarse en cuenta cuando se trata de la verdad, de cualquier manera me siento obligada a decirles que el Sr. Newton no admitió las *fuerzas vivas*, por lo que el nombre del Sr. Newton vale casi una objeción: dicho filósofo examina en su última Cuestión de la *Óptica* el movimiento de un bastón inflexible (...) El Sr. Newton concluyó de esta consideración, y de aquella de la inercia de la materia, que el movimiento va sin cesar en disminución en el Universo; y que finalmente nuestro Sistema tendrá necesidad algún día de ser reformado por su Autor, y esa conclusión se sigue necesariamente de la inercia de la materia, y de la opinión del Sr. Newton: que la cantidad de la fuerza era igual a la cantidad de movimiento; pero cuando se toma como fuerza el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad, es fácil probar que la *fuerza viva* permanece siempre la misma, aunque la cantidad de movimiento varíe quizá a cada instante en el Universo.³³

³² Tanto en su *Principia* como en su *Óptica*, Newton afirma que, como consecuencia de la acción mutua entre los planetas y los cometas, es muy seguro que no haya siempre la misma cantidad de movimiento. Estas afirmaciones le valieron una de las famosas confrontaciones con Leibniz (en la correspondencia Clarke-Leibniz), pero ello se verá en la segunda parte de este trabajo.

³³ « Quoique l'autorité ne doive point être comptée lorsqu'il s'agit de la vérité, cependant je me crois obligé de vous dire que M. Newton n'admettoit point les *forces vives*, car le nom de M. Newton vaut presque une objection : ce Philosophe examine dans la dernière Question de son *Optique* le mouvement d'un bâton inflexible (...) M. Newton conclut de cette considération, & de celle de l'inertie de la matière que le mouvement va sans cesse en diminuant dans l'Univers ; & qu'enfin notre Système aura besoin quelque jour d'être reformé par son Auteur, & cette conclusion étoit une suite nécessaire de l'inertie de la matière, & de l'opinion dans laquelle étoit M. Newton, que la quantité de la force étoit égale à la quantité du mouvement ; mais quand on prend pour force le produit de la masse par le quarré de la vitesse, il est aise de prouver que la *force vive* demeure toujours la même, quoique la quantité du mouvement varie peut être a chaque instant dan l'Univers ». (*Institutions de Physique*,

A primera vista, el asunto es de llamar la atención, pues pocos años después, en 1745, la misma Marquesa iniciará la traducción a su idioma de los *Principia* de Newton, a la cual le añadirá incluso un extenso comentario. En todo caso, hay una cuestión biográfica importante que puede explicar este aparente contrasentido.

Cuando Emilie de Breteuil escribió las *Institutions de Physique* tenía como profesor a un matemático alemán, Jean Samuel Koenig (1712-1757), quien era leibniziano; pero para la época en que traduce los *Principia*, ella ya había tenido una relación de mucho tiempo con Voltaire, el famoso newtoniano francés. Un fragmento del Prefacio histórico que el mismo Voltaire compone para la edición póstuma de esta traducción, nos sirve para ver por dónde iba la cuestión:

No era su primer intento, ella había dado antes al público una explicación de la filosofía de Leibniz bajo el título de *Instituciones de Física* (...) El discurso preliminar que está a la cabeza de esas *Instituciones* es una obra maestra de razón y de elocuencia: ella ha esparcido en el resto de su libro un método y una claridad que Leibniz no tuvo jamás (...) Después de haber hecho las imaginaciones de Leibniz inteligibles, su espíritu que había adquirido todavía más la fuerza y la madurez para ese trabajo, comprendió que esa Metafísica tan atrevida, pero tan poco fundamentada, no ameritaba sus investigaciones. Su alma estaba hecha para lo sublime, pero para la verdad (...) Así después de tener el coraje de embellecer a Leibniz, lo tuvo para abandonarlo (...) Deshecha de todo espíritu de sistema tomó como su regla aquella de la Sociedad Real de Londres, *Nullius in verba*; y es porque la bondad de su espíritu la había convertido en enemiga de partidos y de sistemas, que se entregó totalmente a Newton. En efecto Newton no fijó jamás un sistema, ni supuso jamás nada,

ni enseñó ninguna verdad que no fuera fundada sobre la más sublime Geometría o sobre experimentos incontestables.³⁴

De cualquier manera, Emilie sabía de Matemáticas, y no en vano había tenido algunos de los mejores profesores de su época, el mismo Koenig, Maupertuis y Clairaut (1713-1765), con quien de hecho escribió el comentario final a su traducción.

Ahora vayamos al tema de la *vis viva* visto por la Marquesa. En las *Institutions* Madame du Châtelet señala que hay dos tipos de fuerzas “Fuerza muerta, o Fuerza virtual, y Fuerza viva” y cómo se deben distinguir:

La *Fuerza muerta* consiste en una simple tendencia al movimiento: tal es la de un resorte listo para estirarse; y la *Fuerza viva* es la que un cuerpo tiene cuando está en un movimiento actual (...) Vemos ya que la fuerza muerta y la fuerza viva difieren entre ellas esencialmente, porque la una no produce efecto alguno, y que la otra produce un efecto real.³⁵

³⁴ «Ce n'étoit pas son coup d'essai, elle avoit auparavant donné au Public une explication de la Philosophie de Léibnitz sous le titre *d'Institutions de Physique* (...) Le Discours préliminaire qui est à la tête de ces *Institutions* est un chef d'œuvre de raison & d'éloquence: elle a répandu dans le reste du Livre une méthode & une clarté que Léibnitz n'eut jamais (...) Après avoir rendu les imaginations de Léibnitz intelligibles, son esprit qui avoit acquis encore de la force & de la maturité par ce travail même, compris que cette Métaphysique si hardie, mais si peu fondée, ne méritoit pas ses recherches. Son ame étoit faite pour le sublime, mais pour le vrai (...) Ainsi, après avoir eu le courage d'embellir Léibnitz, elle eut celui de l'abandonner (...) Défaite de tout esprit de système, elle prit pour sa règle celle de la Société Royale de Londres, *Nullis in verba*, & c'est parce que la bonté de son esprit l'avoit rendue ennemie des partis & des systèmes, qu'elle se donna toute entière à Newton. En effet Newton ne fit jamais de système, ne supposa jamais rien, n'enseigne aucune vérité qui ne fût fondée sur la plus sublime Géométrie ou sur des expériences incontestables ». (Voltaire, Préface Historique en *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, en edición facsimilar, Jaques Gabay, Paris, 1990, pp.V-VI.)(Las cursivas son mías.)

³⁵ «La *Force morte* consiste dans une simple tendance au mouvement : telle est celle d'un ressort prêt à se détendre ; & la *Force vive* est celle qu'un corps a lorsqu'il est dans un mouvement actuel (...) On voit déjà que la force morte & et la force vive différent entr'elles essentiellement, puisque l'une ne produit aucun effet, & que l'autre produit en effet réel ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XX, *op. cit.*, pp. 399 y 403.) (Las cursivas son mías.)

Tras distinguir entre *fuerzas vivas* y *muertas*, hace la defensa de las *vivas*, dándole el crédito a Leibniz por su descubrimiento.

El Sr. Leibniz que ha sido el primero en descubrir la verdadera *medida de la fuerza viva*, ha distinguido con mucho cuidado estas dos fuerzas [la *viva* y la *muerta*], y ha explicado tan bien sus diferencias que sería imposible equivocarse en este asunto y confundirlas, si en lugar de rebelarse contra este descubrimiento, se le hubiese examinado (...) Todas los experimentos han confirmado desde entonces este descubrimiento [las *fuerzas vivas*], lo que se le debe al Sr. Leibniz, y ellos han hecho ver que en todos los casos, la fuerza de los cuerpos que están en un movimiento actual, y finito, es proporcional al cuadrado de sus velocidades multiplicadas por sus masas, y esta estimación de las fuerzas se ha convertido en uno de los principios más fecundos de la Mecánica.³⁶

Concluye que no hay ninguna razón sustantiva para la controversia:

Los filósofos están de acuerdo sobre los experimentos que prueban esta estimación de las *fuerzas vivas* (...) Parecería, en principio, que no debería haber disputa alguna sobre esta materia.³⁷

³⁶ « M. de Leibnits qui a découvert le premier la véritable mesure de la force vive, a distingué avec beaucoup de soin ces deux forces [vives et mortes], & il a si bien expliqué leurs différences qu'il eût été impossible de s'y méprendre, & de les confondre, si au lieu de se révolter contre cette découverte, on l'avoit examinée (...) Toutes les expériences ont confirmé depuis cette découverte, dont on a l'obligation à M. de Leibnits, & elles ont fait voir que dans tous les cas, la force des corps qui sont dans un mouvement actuel, & fini, est proportionnelle aux quarrés de leurs vîtesses multipliées dans leur masse, & cette estimation des forces est devenue un des principes les plus féconds de la Méchanique ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XXI, *op. cit.*, pp. 419-420 y 423.) (Las cursivas son mías.)

³⁷ « Les Philosophes sont d'accord sur les expériences qui prouvent cette estimation des *forces vives* (...) Il sembleroit d'abord qu'il ne devoit y avoir aucune dispute sur cette matière ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XXI, *op. cit.*, p.423.) (Las cursivas son mías.)

La intervención de D'Alembert en la disputa sobre las *fuerzas vivas* fue a partir de la otra fuerza que también Leibniz había concebido –que acabamos de ver con la Marquesa del Châtelet- la fuerza muerta o *vis mortua*.³⁸

La fuerza, además [de activa y pasiva], es de dos tipos: una elemental, que denomino también fuerza muerta, pues el movimiento todavía no existe en ella (...); la otra es fuerza común combinada con movimiento real, a la cual llamo fuerza viva [*vis viva*]. Un ejemplo de fuerza muerta es la fuerza centrífuga, y también, la fuerza de gravedad o fuerza centrípeta; asimismo, la fuerza con la que un cuerpo elástico estirado se empieza a restaurar.³⁹

Y la manera como emplea la *fuerza muerta* es mediante lo que actualmente se conoce como el *Principio de D'Alembert*. Este principio afirma que las *fuerzas muertas* tienen la característica de no realizar trabajo. Esto es, no producen movimiento, sino que, por el contrario, lo constriñen. Un ejemplo de este tipo de fuerza es la gravedad que cualquier persona resiente contra el suelo; el suelo produce una fuerza exterior que nos restringe de 'caer' más allá de él. Otro ejemplo es uno que Leibniz da de una honda, en la que ésta no deja que la piedra salga volando debido a la fuerza centrífuga. La tensión de la honda produce una fuerza centrípeta que se compensa con la fuerza centrífuga.⁴⁰ A su vez, la centrípeta es una fuerza de constricción puesto que limita el movimiento a ser circular y la centrífuga es resultado de la constricción.

Pero ahora veamos directamente a D'Alembert. De acuerdo con él, existen tres principios fundamentales en la Mecánica. El primero, la *fuerza de*

³⁸ En su tratado del *Specimen Dyanamicum* (1695), el suplemento de la *Breve demostración del error memorable de Descartes* (1686), Leibniz introduce la noción de *vis viva* pero, asimismo, la de *vis mortua*. De acuerdo con Mach, ello fue para revertir el asunto de la *medida de la fuerza* (ver *The Science of Mechanics, op. cit.*, p.364).

³⁹ Leibniz, *Specimen Dynamicum, op. cit.*, p.438 y 436-7. Lo referente a la distinción entre fuerzas activas y pasivas se verá en la segunda parte de este trabajo.

⁴⁰ *Ibid*, p.438.

inercia, por la cual los cuerpos permanecen en reposo o movimiento si no hay ninguna *causa* externa que cambie ese estado. (D'Alembert trata de evitar lo más posible la palabra fuerza y, por tanto, habla de causas):⁴¹

La fuerza de inercia, es decir, la propiedad que tienen los cuerpos de perseverar en su estado de reposo o de movimiento, habiendo sido ésta de una vez establecida, es claro que el movimiento, que necesita al menos de una causa para comenzar a existir, no sería tampoco acelerado o retardado sino por una causa ajena. ¿Mas cuales son las causas capaces de producir o cambiar el movimiento en los cuerpos? Las que conocemos hasta el presente son sólo de dos tipos: las unas se manifiestan a nosotros al mismo tiempo que el efecto que producen, o más bien, donde ellas son la ocasión: son aquellas que tienen su origen en la acción sensible y mutua de los cuerpos, resultado de su impenetrabilidad: ellas se reducen al impulso y a otras acciones derivadas de este último; todas las demás causas no se hacen conocer más que por su efecto, e ignoramos enteramente su naturaleza: tal es la causa que hace que los cuerpos pesantes caigan hacia el centro de la Tierra, aquella que mantiene los Planetas en sus órbitas, etc.⁴²

⁴¹ La cuestión de las causas del movimiento fue debatida por muchos. Entre otros, Maupertuis (1698-1759) sostendrá que “toda noción de fuerza carece de significación en el ámbito material; en realidad no es sino la proyección de nuestro propio sentimiento de esfuerzo, y en la medida en que los cuerpos no pueden experimentar sensaciones, tampoco pueden experimentar fuerzas. Se trata de un artificio útil en orden a cuantificar los movimientos, pero que nada nos enseña del modo como se transmiten estos”. *Essai de Cosmologie* citado en Ana Rioja, *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, Alianza, Madrid, 1985, p.103. Una afirmación muy similar a ésta de Maupertuis la hará el propio D'Alembert en la *Enciclopedia* en el artículo dedicado a las Fuerzas.

⁴² « *La force d'inertie*, c'est-à-dire la propriété qu'ont les Corps de persévérer dans leur état de repos ou de Mouvement, étant une fois établie, il est clair que le Mouvement, qui a besoin d'une cause pour commencer au moins à exister, ne sauroit non plus être accéléré ou retardé que par une cause étrangere. Or quelles sont les causes capables de produire ou de changer le Mouvement dans les Corps ? Nous n'en connoissons jusqu'à présent que de deux sortes : les unes se manifestent à nous en même-tems que l'effet qu'elles produisent, ou plutôt dont elles sont l'occasion : ce sont celles que ont leur source dans l'action sensible & mutuelle des Corps, résultante de leur impénétrabilité : elles se réduisent à l'impulsion & à quelques autres actions dérivées de celle-là : toutes les autres causes ne se font connoître que par leur effet, & nous en ignorons entièrement la nature : telle est la cause qui fait tomber les Corps pesans vers le centre de la Terre, celle qui retient les Planètes dans leurs orbites, &c ».

El segundo principio es el de *movimiento compuesto* (lo que actualmente se conoce como la ley del paralelogramo de fuerzas):

Todo lo que nos enseña en este caso el principio de la fuerza de inercia, es que el móvil no puede más que tender a describir una línea recta, y a describirla uniformemente: pero eso no hace conocer ni la velocidad ni la dirección. Se ve uno obligado, entonces, a recurrir a un segundo principio, que es aquel al que llaman la composición de movimientos, y por el cual se determina el movimiento único de un cuerpo que tiende a moverse siguiendo, al mismo tiempo, diferentes direcciones con velocidades dadas.⁴³

El tercero es el *principio de equilibrio*:

Con respecto a las leyes de movimiento [compuestos y descompuestos], es claro (...), que en general no se necesita para determinar esas leyes más que tener bien constatadas aquellas del equilibrio (...) Dos cuerpos en los que las direcciones son opuestas, se ponen en equilibrio cuando sus masas están en razón inversa a sus velocidades con las que tienden a moverse.⁴⁴

Este último principio es una manera sofisticada de expresar la ley de equilibrio de Arquímedes, pero lo que demostrará con él y los dos anteriores

(Prefacio al *Traité de la Dynamique*, en edición facsimilar (de 1758), Jaques Gabay, Paris, 1990 pp.X-XI.)

⁴³ « Tous ce que nous apprend dans ce cas le principe de la force d'inertie, c'est que le mobile ne peut tendre qu'à décrire une ligne droite, & à la décrire uniformément : mais cela ne fait connoître ni sa vitesse ni sa direction. On est donc obligé d'avoir recours à un second principe, c'est celui qu'on appelle la composition des Mouvements, & par lequel on détermine le Mouvement unique d'un Corps qui tend à se mouvoir suivant différents directions à la fois avec des vitesses données ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, pp.XII-XIII.)

⁴⁴ « A l'égard des loix du Mouvement [composés et décomposés], il est clair (...), qu'en général il ne faut pour déterminer ces loix, qu'avoir bien constaté celles de l'équilibre (...) Deux Corps dont les directions sont opposées, se font équilibre quand leurs masses sont en raison inverse des vitesses avec lesquelles ils tendent à se mouvoir ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XIV.)

D'Alembert es que las leyes de la dinámica se pueden obtener como una generalización de las leyes de la estática. Esto es, el estudio del equilibrio, bajo la acción de diversas fuerzas y de constricciones entre los cuerpos, se puede extender al caso de cuerpos que se están moviendo.

El principio de equilibrio unido a los de la fuerza de inercia y del movimiento compuesto, nos conducen, por tanto, a la solución de todos los problemas donde se considere el movimiento de un cuerpo (...) De estos principios combinados se puede, pues, deducir fácilmente las leyes del movimiento de los cuerpos que chocan entre sí de una manera cualquiera, o que se tiran por medio de algún cuerpo interpuesto entre ellos, y al cual están atados.⁴⁵

Esto es la descripción en palabras de lo que posteriormente habrá de ser el *Principio de D'Alembert*. Ahora bien, una vez que ha presentado una visión panorámica de qué se debe entender por Mecánica, hace algunas reflexiones sobre el concepto de fuerza y, en particular, de la querella de las *fuerzas vivas*. A continuación presento lo referente al concepto de fuerza en general:

Todo lo que vemos muy distintamente en el movimiento de un cuerpo es que recorre cierto espacio y que le toma un cierto tiempo recorrerlo. Es pues de esta sola idea que se deben sacar todos los Principios de la Mecánica, cuando se los quiere demostrar de una manera clara y precisa; así no será una sorpresa que como consecuencia de esta reflexión yo haya, por así decirlo, desviado la vista de las *causas motrices*, para considerar únicamente el movimiento que ellas producen, que he enteramente proscrito las fuerzas inherentes a los cuerpos en movimiento,

⁴⁵ « Le Principe de l'équilibre joint à ceux de la force d'inertie & du Mouvement composé, nous conduit donc à la solution de tous les Problèmes où l'on considere le Mouvement d'un Corps (...) De ces Principes combinés on peut donc aisément déduire les loix du Mouvement des Corps que se choquent d'une maniere quelconque, ou qui se tirent para le moyen de quelque Corps interposé entr'eux, & auquel ils sont attachés ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XV.)

seres oscuros y metafísicos, que sólo son capaces de cubrir con tinieblas una ciencia clara por sí misma.⁴⁶

Lo siguiente es su sentir acerca de la controversia de las *fuerzas vivas*:

Es por esta razón que creí conveniente no entrar en el examen de la famosa cuestión de las *fuerzas vivas*. Esta cuestión que desde hace treinta años divide a los geómetras consiste en saber si la fuerza de los cuerpos en movimiento es proporcional al producto de la masa por la velocidad, o al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad: por ejemplo, si un cuerpo doble de otro y que tiene tres veces más velocidad tiene dieciocho veces más de fuerza o seis veces solamente. No obstante las disputas que esta cuestión ha causado, la inutilidad perfecta que es para la mecánica me condujo a no hacer ninguna mención en la obra que presento hoy: no creo, sin embargo, que deba pasar enteramente en silencio una opinión, sobre la cual *Leibniz* creyó poder hacerse honor como de un descubrimiento.⁴⁷

Tras de dar su opinión acerca de controversia, D'Alembert menciona a algunos personajes que según él contribuyeron a interesar al público en este

⁴⁶ « Tout ce que nous voyons bien distinctement dans le Mouvement d'un Corps, c'est qu'il parcourt un certain espace, & qu'il employe un certain tems à le parcourir. C'est donc de cette seule idée qu'on doit tirer tous les Principes de la Méchanique, quand on veut les démontrer d'une maniere nette & précise; ainsi on ne sera point surprise qu'en conséquence de cette réflexion, j'aie, pour ainsi dire, détourné la vûe de dessus les *causes motrices*, pour n'envisager uniquement que le Mouvement qu'elles produisent; que j'aie entièrement proscrit les forces inhérentes au Corps en Mouvement, êtres obscurs & Métaphysiques, qui ne sont capables que de répandre les ténèbres sur une Science claire par elle-même ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, pp.XVI-XVII.) (Las cursivas son del autor.)

⁴⁷ «C'est par cette raison que j'ai cru ne devoir point entrer dans l'examen de la fameuse question des *forces vives*. Cette question qui depuis trente ans partage les Géometres, consiste à savoir, si la force des Corps en Mouvement est proportionnelle au produit de la masse par la vitesse: par exemple, si un Corps double d'un autre, & qui a trois fois autant de vitesse, a dix-huit fois autant de force ou six fois autant seulement. Malgré les disputes que cette question a causées, l'inutilité parfaite dont elle est pour la Méchanique, m'a engagé à n'en faire aucune mention dans l'Ouvrage que je donne aujourd'hui: je ne crois pas néanmoins devoir passer entièrement sous silence une opinion, dont *Leibnitz* a cru pouvoir ce faire honneur comme d'une découverte». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XVII.) (Las cursivas son del autor.)

tema. Como dato curioso, está el hecho de que en la edición de 1743, menciona “los escritos de una dama ilustre por su espíritu y por su sabiduría”, la cual parece no ser otra que, Madame del Châtelet; pero en la edición de 1758, la referencia a la “dama” la sustituye por la de “un gran número de matemáticos ilustres”.⁴⁸

Sin embargo, para D’Alembert, los tres principios que él expone son suficientes para describir el estado de reposo (equilibrio) o de movimiento de los cuerpos, sin necesidad de entrar en discusiones que él considera inútiles. Como hará ver más adelante: dependiendo de las cantidades observables (distancias recorridas o tiempos dados) que se consideren para dar cuenta del movimiento, se obtendrá un efecto determinado. Más explícitamente (cito en dos partes).

Ya sea que un cuerpo tenga una cierta tendencia a moverse con una cierta velocidad, tendencia detenida por un obstáculo; ya sea que se mueva real o uniformemente con esa velocidad; ya sea que finalmente empiece a moverse con esa velocidad, la cual se consume y aniquila poco a poco por alguna causa que pueda ser; en todos esos casos, el efecto producido por el cuerpo es distinto, pero el cuerpo considerado en sí mismo no tiene nada más en un caso que en otro; solamente la acción de la causa que produce el efecto ha sido aplicado en forma distinta.

En esta primera parte de la cita, lo que D’Alembert muestra es que lo único que se puede percibir del movimiento son sus efectos. Sin embargo, lo

⁴⁸ Existen dos ediciones del *Tratado de Dinámica* de D’Alembert, una de 1743 y otra de 1758, la cual fue corregida y ampliada por el mismo autor. En la edición de 1743 D’Alembert escribe: “& à laquelle enfin les écrits d’une Dame illustre par son esprit & par son savoir ont contribué à intéresser le Public” (Prefacio al *Traité de Dynamique*, en edición facsimilar (de 1743), Culture et Civilization, Bruselas, 1967, p.XVII). En la edición de 1758, se lee: “& à laquelle enfin les écrits d’un grand nombre de Mathématiciens illustres ont contribué à intéresser le Public” (Prefacio al *Traité de Dynamique*, op. cit., p.XVIII).

que es más interesante es cuando dice que la “tendencia al movimiento puede ser detenida por algún obstáculo”, pues no siempre se refiere a obstáculos, en el sentido de cuerpos impenetrables, sino que al parecer lo que tiene en mente son ‘fuerzas’ como las que produce un resorte. De ahí que, como se ve en la segunda parte de la cita, el “efecto se reduce a una simple tendencia (...) ya que no resulta ningún movimiento”. Esto es, el cuerpo tiene una velocidad virtual, lo que significa que podría desplazarse (aunque no lo haga) en cualquier sentido y dirección permitida por las constricciones impuestas por un obstáculo, sea éste una superficie (i.e. algo impenetrable) pero también una ‘fuerza’ del tipo centrípeta o centrífuga, como en el caso de una piedra atada a una honda o de una balanza.

En el primer caso [un cuerpo detenido por un obstáculo] el efecto se reduce a una simple tendencia que no tiene propiamente medida precisa, ya que no resulta ningún movimiento; en el segundo [velocidad uniforme] el efecto es el espacio recorrido en un tiempo dado, y ese efecto es proporcional a la velocidad; en el tercero [movimiento contra un obstáculo que lo frena] el efecto es el espacio recorrido hasta la extinción total del movimiento, y este efecto es como el cuadrado de la velocidad. Mas estos diferentes efectos son efectivamente producidos por una misma causa; así pues aquellos que dicen que la fuerza es ya como la velocidad, ya sea como su cuadrado, no pudieron oír hablar más que del efecto, cuando se expresaron de la fuerza.⁴⁹

⁴⁹ « *Soit qu'un Corps ait une simple tendance à se mouvoir avec une certaine vitesse, tendance arrêtée par quelque obstacle ; soit qu'il se meuve réellement & uniformément avec cette vitesse, laquelle se consume & s'anéantisse peu à peu par quelque cause que ce puisse être ; dans tous ces cas, l'effet produit par le Corps considéré en lui-même n'a rien de plus dans un cas que dans un autre ; seulement l'action de la cause que produit l'effet est différemment appliquée. / Dans le premier cas, l'effet se réduit à une simple tendance, qui n'a point proprement de mesure précise, puisqu'il n'en résulte aucun mouvement ; dans le second, l'effet est l'espace parcouru uniformément dans un tems donné, & dans le troisième, l'effet est l'espace parcouru jusqu'à l'extinction totale du Mouvement, & cet effet est comme le quarré de la vitesse. Or ces différens effets sont évidemment produits par une même cause ; donc ceux qui on dit*

4.4.2 El desenlace de la polémica

En este apartado analizaré algunos juicios que se han hecho en la época actual acerca de la controversia de las *fuerzas vivas*. En particular, de la posición que tomó D'Alembert al respecto. Para ello, me referiré a tres artículos de estudiosos de la Historia de la Filosofía Natural: "The *Vis viva* Controversy, a Post-Mortem" de Lawrence Laudan, "D'Alembert and the *Vis viva* Controversy" de Carolyn Iltis y "La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler", de Juan Arana.

En sus artículos, tanto Laudan como Carolyn Iltis sostienen, refiriéndose a autores clásicos como Ernest Mach, que la fecha en la que se suele dar por terminada la controversia sobre las *fuerzas vivas* es el año 1743, con la publicación del *Tratado de Dinámica* de D'Alembert. Pero, después de todo, no fue así sino que duró muchos años más.⁵⁰

Al respecto es importante analizar al menos dos cuestiones. Uno: ¿qué se entiende por el término de una controversia? Dos: ¿cuál fue realmente la posición de D'Alembert respecto a las *fuerzas vivas*?

Si consideramos la primera pregunta, podemos ver que hay varias polémicas que supuestamente se han dirimido, pero cuando se las analiza desde otra perspectiva se ve que no es así. Como ejemplo se puede dar el caso del éter. Muchos físicos, como por ejemplo, Poincaré (1854-1912),

que la force étoit tantôt comme la vitesse, tantôt comme son carré, n'ont pu entendre parler que de l'effet, quand ils se sont exprimés de la sorte». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, pp.XXII-XXIII.) (Las cursivas son mías.)

⁵⁰ Ver L. Laudan en "The *Vis viva* Controversy, a Post-Mortem", *Isis*, 59, 1968, p.131 y C. Iltis en "D'Alembert and the *Vis Viva* Controversy" en *Studies in History and Philosophy of Science*, 1, núm. 2, 1970, p.135. El pasaje de Mach al que se refieren Laudan e Iltis es el siguiente: "The dispute raised by Leibniz rested, therefore, on various *misunderstandings*. It lasted fifty-seven years, till the appearance of D'Alembert's *Traité de dynamique*, in 1743" (ver *The Science of Mechanics*, *op. cit.*, p.365). (Las cursivas son del autor.)

seguían pensando que había éter aún después de la aparición, en 1905, de la Teoría de la Relatividad de Einstein (1879-1955). Siguiendo con el ejemplo del éter, tenemos el caso de Fontenelle (1657-1757), quien fuera secretario de la Academia de las Ciencias desde 1699, y que siempre estuvo adherido al modelo cosmológico de los torbellinos cartesianos.

Con relación a la segunda pregunta, la realidad es que D'Alembert no pretendió dirimir la cuestión de la *vis viva*, sino que escribió: “no es más que una disputa de palabras, si se considera que las dos partes están enteramente de acuerdo sobre los principios fundamentales del equilibrio y el movimiento”.⁵¹ De hecho, en su edición de 1743 (como en la de 1758) hay un apartado dedicado a la presentación de los principios para la *conservación de las fuerzas vivas* que, dicho sea de paso, él atribuye su correcta formulación a Huygens.

El Sr. *Huyghens* es el primero, que yo sepa, que ha hecho mención de estos dos principios [*del movimiento constreñido de los cuerpos con o sin fuerzas externas*]. Yo acometo la tarea de dar, en este capítulo, si no una demostración general para todos los casos, al menos los principios suficientes para encontrar la demostración en cada caso particular.⁵²

Y en la *Enciclopedia*⁵³ escribe:

⁵¹ « Elle n'est qu'un dispute de mots, s'ils considerent que les deux partis sont d'ailleurs entièrement d'accord sur les principes fondamentaux de l'équilibre & du mouvement ». (Prefacio al *Traité de Dynamique*, *op. cit.*, p.XXIII.)

⁵² « M. Huyghens est le premier, que je sache, qui ait fait mention de ces deux principes (...) J'entreprends de donner dans ce Chapitre, sinon un démonstration générale pour tous le cas, au moins le principes suffisans pour trouver la démonstration dans chaque cas particulier ». (*Traité de Dynamique*, *op. cit.*, capítulo IV, p.253.) Los corchetes contienen los principios a los que D'Alembert hace referencia pero enunciados en la forma moderna.

⁵³ La *Enciclopedia* fue presentada al público por primera vez entre 1751 y 1777. Consta de 35 volúmenes, de los cuales 28 se publicaron entre 1751-1766 y los otros 7 entre 1772-1777. En 1780 aparecieron dos volúmenes conteniendo el Índice. La edición y publicación estuvieron a cargo de Diderot, miembro de la Academia de las Ciencias y Bellas Artes de Prusia, y la parte matemática se le encomendó a

En mi tratado de Dinámica impreso en 1743, demostré *el principio de la conservación de las fuerzas vivas* en todos los casos posibles; e hice ver que depende de ese otro principio, que cuando dos potencias hacen equilibrio, las velocidades virtuales de los puntos donde ellas son aplicadas, evaluadas según la dirección de esas potencias, están en razón inversa de esas mismas potencias. Este último principio es reconocido desde hace mucho tiempo por los Geómetras para el principio fundamental del equilibrio, o al menos para una consecuencia necesaria del equilibrio.⁵⁴

Esto es, D'Alembert no sólo no pretende dirimir la controversia sino que incluso demuestra de manera rigurosa un teorema sobre la conservación de la *vis viva*.

El otro estudioso de la Historia de la filosofía natural que, asimismo, distorsiona la posición de D'Alembert con respecto a la controversia de las *fuerzas vivas* es Juan Arana. En el artículo mencionado dice:

Desde el punto de vista de la historiografía se ha desconocido prácticamente hasta hoy la importancia tanto científica como filosófica y epistemológica de la evolución del concepto de fuerza, confundándose en una misma rúbrica tanto las contribuciones que deben ser consideradas creaciones intelectuales de primera magnitud como los más desgraciados y nimios sucesos de la polémica de las fuerzas vivas, que ningún historiador serio puede valorar positivamente. Seguramente, el principal culpable de que en este caso la historia se haya escrito sin guardar mucha

D'Alembert, miembro, en ese tiempo, de la Academia Real de las Ciencias de París, de Prusia y de la Real Sociedad de Londres.

⁵⁴ « Dans mon traité de Dynamique imprimé en 1743, j'ai démontré le principe de la conservation des *forces vives* dans tous le cas possibles ; & j'ai fait voir qu'il dépend de cet autre principe, que quand des puissances se font équilibre, le vîtesses virtuelles des points où elles sont appliquées, estimées suivant la direction de ces puissances, sont en raison inverse de ces mêmes puissances. Ce dernier principe est reconnu depuis longtems par les Géomètres pour le principe fondamental de l'équilibre, ou du moins pour une conséquence nécessaire de l'équilibre ». *Encyclopédie* (Forces) –en línea- diderot.alembert.free.fr

fidelidad a lo que realmente sucedió es el juicio vertido a este respecto por D'Alembert.⁵⁵

Así, nuevamente, lo que nos encontramos es una afirmación que no hace justicia a la participación que tuvo D'Alembert en la cuestión. En cualquier caso, ésta no es la única, sino que hay otra más que destaca:

En resumen: D'Alembert rechaza la fuerza, y en especial la fuerza leibniziana, porque no la necesita para sistematizar deductivamente la mecánica (...) Desde esta perspectiva se puede afirmar que si la noción [de fuerza] ha dejado de tener el valor central que tuvo en los siglos XVII y XVIII, no es tanto porque los adversarios de la noción impusieron sus razones, sino porque más bien impusieron la interpretación que en el futuro se habría de dar al término.⁵⁶

Lo que muestra que el autor pasa por alto la verdadera contribución de D'Alembert a la Física y a la Matemática, la cual posteriormente dará lugar a la Mecánica Analítica.

⁵⁵ “La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler”, en *Anuario Filosófico*, 20, núm. 1, 1987, p.35.

⁵⁶ “La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler”, *op. cit.*, p.38-39.

4. LA MEDIDA DE LA FUERZA

Au lieu de [la] quantité de mouvement, M. Leibnitz mettoit la force (...) Sur ce principe il prétendoit établir une nouvelle dynamique, ou science des forces; et il soutenoit que de celui de Descartes s'ensuivoit la possibilité du mouvement perpétuel artificiel, ou d'un effet plus grand que sa cause; conséquence qui ne se peut digérer ni en mécanique, ni en métaphysique.¹

Fontenelle

En este capítulo presento una reconstrucción de los conceptos de fuerza a los que Descartes, Newton y Leibniz llegaron, a partir de lo que cada uno creía que era la 'medida de la fuerza', y la controversia que este tema originó.² En la última parte del capítulo se verán los casos de dos interpretaciones equidistantes sobre la cuestión: el de la Marquesa del Châtelet y el de D'Alembert.

Para hacer la reconstrucción de la 'fuerza' de estos autores de los siglos XVII y XVIII, he dejado un poco de lado la visión filosófica y me he aproximado más a la física, con el fin de entender desde la Mecánica Clásica³ lo que dichos

¹ *Éloge de Leibnitz* (1716) en *Choix d'éloges français le plus estimés par M. de Fontenelle*, p.135, (<http://gallica.bnf.fr>).

² El tema de las *fuerzas*, en los siglos XVII y XVIII era sumamente importante, pues se creía que ellas eran el sostén y el fundamento del movimiento en todas sus formas.

³ Para el estudio de los conceptos de la mecánica clásica que trataré, me he basado en textos de física y en dos clásicos, uno de Maxwell (1831-1879), *Materia y movimiento* y el otro de Mach (1838-1916), *The Science of Mechanics*.

filósofos naturales veían en los cuerpos en movimiento y por ende su explicación de la ‘fuerza’.⁴

En el *PUF Dictionnaire européen de lumières*, P. Radelet-de Grave tiene un pequeño artículo: “FORCE [Lat. vis, potentia ; All. Krafft (*sic*); Angl. Force, strength; It. Forza]”,⁵ en el que habla de que la obra del Siglo de las Luces era distinguir y precisar las nociones de fuerza, cantidad de movimiento o momento e impulso, para darles una expresión matemática y poder cuantificarlas.⁶

Este artículo es interesante no tanto porque en él Radelet afirme que durante la época de las ‘Luces’ el vocabulario concerniente a la ‘fuerza’ no había sido fijado, pues esto es evidente para los que trabajamos estos temas; sino porque plantea que para entender por qué dicho vocabulario no había sido acordado, conviene tomar en cuenta los términos latinos, *vis*, *virtus*,⁷ *momentus* y *potentia*. Otro cuestión interesante de este artículo es que nos hace ver que una de las razones principales por las que no se tenía precisado el concepto de fuerza, era la ambigüedad que había con relación a los parámetros bajo los cuáles se debía cuantificar la fuerza que se aplicaba a las ‘máquinas simples’⁸, las cuales se usan (incluso hoy) para desplazar (mover) cuerpos pesados. Dicho a la manera en que aparece en los textos filosóficos, el

⁴ Debido a que en esta ocasión voy a tratar el tema de las fuerzas desde una perspectiva más cuantitativa que cualitativa, no trataré el problema de la naturaleza de las fuerzas, i.e. de su origen, que es la otra parte de mi investigación.

⁵ (www.google.com –enero2005)

⁶ El término ‘cantidad de movimiento’ se debe a Descartes (en *Los Principios de la Filosofía*, ver Mach en *op. cit.*, p.360) y el de ‘momento’ a Galileo (ver. R. Westfall en los apéndices de *Force in Newton’s Physics*, *op. cit.*, p.527). Es importante señalar, sin embargo, que dichos términos, no se corresponden totalmente con las cantidades físicas actuales bajo esos nombres.

⁷ En mi apreciación, la diferencia genérica entre *vis* y *virtus*, es que la *vis* tenía un sentido de fuerza mecánica (como la conocemos actualmente) y la *virtus* tenía un cierto carácter espiritual y/o material. (Para una explicación un tanto más detallada de esta cuestión, ver el *apéndice 3* al final de este trabajo.)

⁸ Las máquinas simples son cinco: la polea, el polipasto, el plano inclinado, la palanca y el torno.

problema en ese tiempo, era el de cómo medir lo que ellos llamaban la ‘fuerza de movimiento’.

Lo anterior resulta esclarecedor porque la concepción que estos autores tenían de la ‘fuerza de movimiento’ sigue siendo un tema de discusión. Uno puede leer más de veinte veces que Leibniz decía que la ‘fuerza’ es la fuerza de los cuerpos en movimiento, y que Descartes creía que la ‘fuerza’ era la cantidad de movimiento de los cuerpos; mientras que Newton decía que la ‘fuerza’ es lo que cambia la cantidad de movimiento. En suma, uno sólo recuerda que ha leído los términos fuerza y movimiento relacionados, pero sin entender claramente cómo es que lo están en estos autores. Para complicar más la situación, está el hecho de que a lo que entonces se llamaba fuerza (“ese término oscuro de fuerza”, nombrado así por D’Alembert –en su *Tratado de Dinámica* (1743 y 1758)) puede designar, asimismo, nuestro actual trabajo o energía,⁹ e incluso potencia.¹⁰ Esto último y la imagen de las ‘máquinas simples’ muestran que para poder entender bien el concepto de ‘fuerza de movimiento’ hay que hacerlo desde las nociones más básicas.

Todos los conceptos mecánicos (o cantidades) de la física clásica derivan de sólo tres conceptos fundamentales: longitud [espacio, distancia], masa y tiempo. Éstas son las únicas bases que se necesitan para entender –desde la física- qué es la ‘fuerza’ para cada uno de los filósofos naturales mencionados, pero eso no es todo, también con estas mismas bases se puede ver por qué cada uno la midió de distinta manera.

⁹ El uso del término energía, en un sentido preciso y científico, para expresar la cantidad de trabajo que puede hacer un sistema material, fue introducido por Young a principios del siglo XIX. (Ver J. Maxwell, *Materia y movimiento*, IPN, México, 1998 (1877), p.135.)

¹⁰ La ‘potencia’ es la cantidad de trabajo realizado en un intervalo determinado de tiempo.

Para introducir el tema de la ‘fuerza’ desde esta perspectiva de la física, comienzo diciendo que para Descartes la fuerza era equivalente a la cantidad que hoy llamamos momento lineal, de ahí que la ‘fuerza’ para él fuera $F = mv$, (o dicho en palabras: el producto de la masa por la velocidad).¹¹ Para Leibniz, la ‘fuerza’ era algo similar al concepto actual de energía cinética $T = \frac{1}{2}mv^2$, pero también relacionado con la energía potencial¹² $E_p = mgh$ y, por ello muy cercano a lo que llamamos trabajo $W = Fxd$ (el producto de la fuerza por la distancia), debido a que la energía es la capacidad de producir trabajo. Pero, por motivos de simplificación, bástenos retener la notación compacta de la fuerza leibniziana, esto es, Σmv^2 (la suma de las fuerzas vivas, que era el producto del momento de cada cuerpo por su velocidad).¹³ Finalmente, para Newton la ‘fuerza’ era equivalente al impulso, i.e. lo que produce el cambio en la cantidad de movimiento o momento $F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$.¹⁴

La razón de poner las nociones de ‘fuerza’ de estos autores en notación compacta es porque, a partir de ellas, se puede ver algo muy interesante, que es, que si bien todos estos conceptos mecánicos (cantidades físicas) tienen distintos sentidos –debido a su planteamiento–, resultan ser equivalentes entre sí. Ahora bien, ‘distintos sentidos’ significa que estos filósofos naturales medían la fuerza, o bien tomando como parámetro el tiempo, o bien, tomando el

¹¹ Para estas afirmaciones ver Descartes, *Principios de la filosofía* (2:43), en edición de Guillermo Quintás, *op. cit.*, pp.103-104.

¹² El concepto de ‘energía potencial’ apareció hasta la segunda mitad del siglo XIX. De cualquier manera, Leibniz se refiere implícitamente a ese concepto al decir que la ‘fuerza’ para subir una libra a 4 pies es la misma que para subir 4 libras a un pie. (Ver *Breve demostración del error memorable de Descartes*.)

¹³ Para estas afirmaciones ver Leibniz, *Specimen Dynamicum* (primera parte), *op. cit.*, pp.435-444.

¹⁴ Para estas afirmaciones ver Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Ley II, *op. cit.*, p.41-42.

espacio como parámetro. Dicho de otro modo, estos autores daban su 'medida de la fuerza' en función del tiempo durante el cual aplicaban dicha fuerza para que el cuerpo se moviera, o en función de la distancia que un cuerpo recorría al aplicarle la fuerza. Y la razón de que estos conceptos mecánicos sean equivalentes entre sí, es que pueden derivarse unos de otros.

Quizá pueda verse de manera más intuitiva por qué estos conceptos mecánicos aunque sean distintos, son equivalentes, si nos trasladamos ahora a la filosofía y vemos que quienes medían la 'fuerza' en función del tiempo, lo que estaban determinando era la *causa* del movimiento, mientras que los que medían la 'fuerza' en función del espacio, lo que determinaban es el *efecto* de la fuerza. (Esto es, la *causa* del movimiento es la fuerza y el *efecto* de la fuerza es el movimiento.) Con lo que si bien causa y efecto tienen diferentes sentidos: uno habla del inicio de un fenómeno y el otro habla del resultado del fenómeno,¹⁵ estos son equivalentes, porque bien es sabido filosóficamente que el efecto no puede exceder la causa.; así el efecto es –o al menos debe ser– proporcional (equivalente) a la causa.

Una vez visto qué es la 'fuerza' para cada uno de los autores citados, veamos por qué ésta era, para ellos, lo que era.

4.1 Descartes y la conservación de la cantidad de movimiento

Como he expuesto *supra*, para Descartes 'la medida de la fuerza' era la cantidad de movimiento; y debido a que Descartes creía que la cantidad de

¹⁵ En este caso, el fenómeno es el movimiento. El inicio o causa del fenómeno es el tiempo de aplicación de la fuerza, lo cual en física clásica es el impulso (Ft). Y el efecto de este fenómeno es la distancia recorrida por el cuerpo debido a la fuerza aplicada (Fd), lo que en el lenguaje de la física es el trabajo.

movimiento había sido impuesta a la materia en el mismo instante en que Dios la creó, la fuerza debía ser entonces proporcional a la cantidad total de movimiento en el mundo.

Supongamos que Dios [al comenzar a mover la materia] la divide verdaderamente en muchas partes determinadas (...) Pensemos que toda la distinción que hace ahí, consiste en la diversidad de los movimientos de 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.¹⁶

Debido a esto, Descartes llegó a resultados contra-intuitivos en sus reglas de choque, como es el caso de la regla cuatro, donde afirma que un cuerpo C si está en reposo y es algo mayor que B entonces cualquiera que sea la velocidad con que B se mueva hacia C, nunca moverá a C (PF 2:49). Cuando Galileo ya había verificado con experimentos que un cuerpo (elástico) en reposo es puesto en movimiento por otro más pequeño que acabe de chocarlo.¹⁷ (Y hoy día, es un hecho trivial que si un cuerpo B en movimiento choca con un cuerpo C en reposo; no obstante que C sea un poco más masivo, será movido por B, o al menos será alterado en su equilibrio.)

La razón de que Descartes llegara a este resultado un tanto contra-intuitivo o “completamente incompatible con la experiencia”, como diría Leibniz en sus *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*,¹⁸ es que Descartes no era consciente de que en todos los casos

¹⁶ *El Mundo o Tratado de la luz*, capítulo VIII. Edición de Laura Benítez, UNAM, México, 1986, p.95.

¹⁷ Ver D. Papp, *Historia de la física*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1945, p.70.

¹⁸ Ver *Observaciones críticas...*, *op. cit*, p.173.

de colisiones (elásticas o inelásticas) el momento, ie. la cantidad de movimiento solamente se transfiere o se redistribuye sin pérdida ni ganancia, sin importar el tamaño de los cuerpos ni la velocidad que éstos lleven. Pero, como Leibniz decía en 1686 en su *Breve demostración del error memorable de Descartes*; Descartes confundió la ‘fuerza de movimiento’ con la cantidad de movimiento; por lo que para no alterar o conservar (como se quiera ver) esta ‘fuerza de movimiento’ lo que hace es no estimar los cambios mínimos, y sólo hace el cambio de rapidez o el de dirección.¹⁹

4.2 Leibniz y la conservación de la fuerza viva

Para Leibniz ‘la medida de la fuerza’ era la conservación de la *fuerza viva*.²⁰ Esta *fuerza viva*, dicho de manera simplificada, era la fuerza poseída por los cuerpos en movimiento. Actualmente esta fuerza es en cierto grado, lo que se conoce como <energía cinética>, y digo en cierto grado, porque nuestra <energía cinética> equivale a tan sólo $\frac{1}{2}$ de lo que él estableció como ‘fuerza de movimiento’.

De acuerdo con Leibniz, en su *Breve demostración del error memorable de Descartes*, la cantidad de movimiento no puede ser la medida de la fuerza

¹⁹ Algunos estudiosos de Descartes como v.g. Torreti o Shea, sugieren que uno de los problemas de la física cartesiana y por ende, para las reglas de choque es que el momento cartesiano es una magnitud escalar, puesto que para Descartes no existe la velocidad, sino tan sólo la rapidez. Sin embargo Leibniz en su *Specimen Dynamicum* (1695), dice que Descartes si distinguió entre velocidad (rapidez) y dirección, sólo que como acabo de mencionar arriba, no estimaba los cambios mínimos (ver *op. cit.*, p.439).

²⁰ El término *fuerza viva* no aparece en la versión original de la *Breve demostración del error memorable de Descartes*, sino hasta que fue añadido el suplemento de este escrito, i.e. el *Specimen Dynamicum*.

como Descartes pretendía, puesto que en las colisiones ésta es una magnitud, según el mismo Leibniz, no se conserva siempre.

Ahora bien, para entender por qué Leibniz establecía las cosas de esta manera, si bien hoy sabemos que la cantidad de movimiento es una cantidad que sí se conserva, es importante saber que él medía la fuerza en función de la velocidad $v = \frac{d}{t}$ (la distancia recorrida en una unidad de tiempo); y la medía de esta manera porque al trabajar con 'máquinas simples' (estos artefactos que ayudaban y ayudan a mover cuerpos pesados) se dio cuenta de que un cuerpo B a gran velocidad era capaz de "transferir" más movimiento a un cuerpo C que cuando este cuerpo B iba a menor velocidad.²¹ Así en la misma obra de la *Breve demostración del error memorable de Descartes*, se lee:

Hay una gran diferencia entre la fuerza de movimiento y la cantidad de movimiento, y la una no puede ser calculada en términos de la otra. Por lo que parece que la fuerza debe ser estimada por la cantidad del efecto que puede producir y no sólo por la velocidad que pudiera imprimir a un cuerpo (...) Por tanto, no es sorprendente que las fuerzas de dos cuerpos iguales sean proporcionales no a sus velocidades sino a las causas o efectos de la velocidad, o al cuadrado de sus velocidades. Se sigue entonces que cuando dos cuerpos colisionan, lo que se conserva tras la colisión no es la misma cantidad de movimiento o ímpetus, sino la misma cantidad de fuerza.²²

Termino este apartado de Leibniz citando el punto de vista de D. Papp sobre esta controversia acerca de lo que debía ser 'la medida de la fuerza'. Esto es, que a pesar de la victoria de Leibniz sobre Descartes en el problema

²¹ Si se observa, este planteamiento, es totalmente opuesto al planteamiento de la regla cuarta cartesiana.

²² Ver *Philosophical Papers and Letters*. Edición de Leroy Loemaker, Reidel, Dordrecht-Boston, pp.296-302.

de *aquel algo* que se conserva en las metamorfosis mecánicas, su discusión sobre 'la verdadera medida de la fuerza' era –lo sabemos desde D'Alembert– batallar con molinos de viento.²³ El desacuerdo que tenía Leibniz con Descartes era, quizá sin darse clara cuenta, sobre la alternativa de si la fuerza o más correctamente 'la capacidad de acción' de un móvil- ha de medirse por el tiempo empleado (Ft) o por el camino recorrido (Fd); en otras palabras si la naturaleza trabaja en función del *tiempo* [como lo vería Newton] o en función del *espacio*, como lo sostuvo Leibniz. Las dos proposiciones, como ya se ha mencionado, se equivalen, a pesar de tener distintos sentidos. Al multiplicar la fuerza por el tiempo, se obtiene el 'impulso' [newtoniano], $Ft = \Delta(mv)$, i.e. el cambio en la cantidad de movimiento. Multiplicando la fuerza por el espacio obtenemos Fd , esto es, el 'trabajo' que es lo que cambia las condiciones cinéticas de un cuerpo, o dicho en términos leibnizianos, la *fuerza viva*.²⁴

Lo interesante de este punto de vista de Papp, es que ilustra claramente la razón de por qué no les resultaba fácil, a los autores que se han visto, precisar la 'medida de la fuerza' y por ende, mucho menos fijar una noción de *fuerza* que fuera unívoca. Si bien, como sabemos, históricamente el crédito de haber podido dar con la intuición correcta de cómo medirla, es de Newton.

4.3 Newton y el impulso o el cambio en la cantidad de movimiento

Newton al igual que Leibniz o Descartes, se dio cuenta que cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo éste cambia de velocidad, así como el hecho de que entre mayor sea la fuerza aplicada, mayor será el cambio de la velocidad y,

²³ Ver el Prefacio al *Tratado de Dinámica*.

²⁴ Ver D. Papp, *Historia de la física*, *op.cit.*, p.71.

por tanto, el cambio en el momento. Sin embargo a diferencia de Descartes o de Leibniz, la intuición correcta que tuvo Newton es que el tiempo durante el cual se ejerce la fuerza es lo importante para cuantificar el cambio de momento.

El cambio de movimiento 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 impresa es entera y a la vez, como si lo es gradual y sucesivamente²⁵

Esto es, si se aplica una fuerza durante un breve intervalo de tiempo, el cambio en el momento será pequeño; pero si se aplica la fuerza durante un intervalo mayor, el cambio en el momento será mayor. De ahí que, Newton expresara originalmente su segunda ley del movimiento en términos de cantidad de movimiento más que de aceleración.²⁶

Ahora bien, la relación de la cantidad de movimiento (momento) con la fuerza (en términos de aceleración) se puede apreciar partiendo de $F = ma$ y usando $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Con todo y que Newton encontró la manera correcta para 'medir la fuerza', la controversia acerca de las 'fuerzas' no terminó con él, sino que tomó otro cauce y se convirtió en lo que se conoce como la polémica de las *fuerzas vivas*.

²⁵ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Ley II, *op. cit.*, p.41. (Las cursivas son mías.)

²⁶ La formulación de la segunda ley en términos de aceleración, esto es, como $F = ma$ es de Euler (1707-1783).

Una disputa que, en este caso, giraría en torno a si lo que se debía considerar eran los efectos de la *vis viva* (mv^2) o, la cantidad de movimiento (mv).²⁷

Un motivo fundamental para que se diera la controversia se debió a que, como Leibniz mismo sabía, la *vis viva* no era una cantidad que se conservara totalmente en la colisión de cuerpos inelásticos:

No todos han aceptado la proposición que me parece cierta: que el rebote y la reflexión de los cuerpos sólo resulta de la fuerza elástica, de la resistencia que ofrece un movimiento interno.²⁸

El problema con este detalle era que, al parecer, después de la contienda entre Leibniz y los cartesianos²⁹ no se había logrado llegar a la verdadera 'medida de la fuerza'.

Irónicamente, una de las razones por las que la *vis viva* no se conservaba en todos los casos tiene relación con algo establecido por Newton. De acuerdo con su tercera ley, siempre que se aplica una fuerza a un cuerpo, éste a su vez responde con otra, que es de igual intensidad pero en sentido contrario.

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.

Cualquier cosa que arrastre o comprima a otra cosa es igualmente arrastrada o comprimida por esa otra. Si se aprieta una piedra con el dedo, el dedo es apretado también por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada a una cuerda, el caballo (por así decirlo) será también

²⁷ La separación que hago entre el problema de 'la medida de la fuerza' y el de las *fuerzas vivas* se puede encontrar, asimismo, en E. Mach, *The Science of Mechanics*, *op. cit.*, p.365.

²⁸ Leibniz, *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, p.440.

²⁹ Una buena parte de la crítica que Leibniz hace en contra de la conservación de la cantidad de movimiento la dirige a Descartes; sin embargo, en su tiempo había muchos cartesianos que debatían con él.

arrastrado hacia atrás: la cuerda distendida, debido al esfuerzo mismo por relajarse, arrastrará al caballo hacia la piedra tanto como la piedra hacia el caballo.³⁰

Esta fuerza, que se la conoce como de reacción, siempre está presente y es aquella que en vez de provocar el movimiento, o mejor dicho, el cambio de estado, tiende a impedirlo.

Para entender cómo este tipo de fuerza está relacionada con la conservación de la energía cinética, retomemos el ejemplo que Newton da de la piedra y el caballo. En este ejemplo existen tres pares de fuerzas: el primero, las que se ejercen por el caballo sobre la piedra y la piedra sobre el caballo; el segundo, las ejercidas por el caballo sobre el suelo y las del suelo sobre el caballo (al empujarse el uno al otro); y tercero, la fuerza entre la piedra y el suelo. Ahora bien, lo que nos interesa en este caso, son los dos últimos pares de fuerzas, que tienen que ver con lo que se conoce como *fricción* (fuerza de). Esto es, la resistencia al movimiento cuando dos superficies están en contacto. Regresemos al ejemplo del caballo y la piedra.

En el primer par de fuerzas, la reacción que la piedra ejerce sobre el caballo lo arrastra hacia atrás y, por tanto, le impide moverse libremente hacia adelante. ¿Cómo puede entonces el caballo moverse totalmente hacia adelante? Por medio de una interacción con el suelo. Al empujar el suelo hacia atrás, éste empuja al caballo hacia delante (segundo par de fuerzas). Si la fuerza con que el caballo empuja el suelo es mayor que con la que tira de la piedra, habrá una fuerza total sobre el caballo y podrá acelerar. Cuando la piedra alcanza una velocidad constante, el caballo sólo tiene que empujar el

³⁰ Newton, *Principios de la filosofía natural*, Ley III, *op. cit.*, p.42. (Las cursivas son mías.)

suelo con una fuerza suficiente para vencer la *fricción* entre éste y la piedra. Pero esto es sólo una parte del relato, i.e. lo relacionado con las fuerzas de acción y reacción de Newton, y la causa de la *fricción*. Lo concerniente a la conservación de la *vis viva* tiene que ver con el hecho de que, v.g. cuando las patas del caballo ejercen fuerza sobre el suelo a fin de desplazarse hacia adelante, la resistencia que éste les opone hace que se genere calor o incluso que se le rompa alguno de los cascos. La mayor parte de la energía cinética (energía de movimiento) se pierde por la fricción de la piedra con el suelo, y el resto por la fricción de los cascos. Como resultado, se calientan los cascos y la piedra.³¹ Otra pequeña parte se pierde en la cantidad de trabajo realizada al deformar permanentemente el casco, y otra más en el sonido que se produce por el impacto de las patas con el suelo.

4.4 La polémica de las *fuerzas vivas*

En esta sección se verá la defensa que la Marquesa del Châtelet (1706-1749) hace de la *vis viva* leibniziana. Asimismo, se verá la participación D'Alembert en la polémica de las *fuerzas vivas*.

4.4.1 El sendero de la polémica

Entre los varios caminos que siguió la controversia de las *fuerzas vivas*, equiparables al número de autores que participaron en ella, hay dos que son centrales: el de la Marquesa del Châtelet y el de D'Alembert.

³¹ En 1798, Benjamín Thompson, Conde de Rumford (1753-1814), notó que en el barrenado de cañones se producían grandes cantidades de calor debido a la fricción y mostró que existe una relación cuantitativa entre el calor producido y el trabajo invertido en taladrar.

En el año 1740, Emilie de Breteuil publicó su libro *Institutions de Physique*. En él dedica, como es de suponerse, una muy buena parte a la cuestión de las 'fuerzas'. El libro es interesante porque, además de hacer una entusiasta defensa de la *vis viva* de Leibniz, la *vis viva* le servirá para mostrar por qué (supuestamente) Newton se vio obligado a concluir que la cantidad de movimiento en el Universo eventualmente cambiaría.³²

Si bien la autoridad no debe tomarse en cuenta cuando se trata de la verdad, de cualquier manera me siento obligada a decirles que el Sr. Newton no admitió las *fuerzas vivas*, por lo que el nombre del Sr. Newton vale casi una objeción: dicho filósofo examina en su última Cuestión de la *Óptica* el movimiento de un bastón inflexible (...) El Sr. Newton concluyó de esta consideración, y de aquella de la inercia de la materia, que el movimiento va sin cesar en disminución en el Universo; y que finalmente nuestro Sistema tendrá necesidad algún día de ser reformado por su Autor, y esa conclusión se sigue necesariamente de la inercia de la materia, y de la opinión del Sr. Newton: que la cantidad de la fuerza era igual a la cantidad de movimiento; pero cuando se toma como fuerza el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad, es fácil probar que la *fuerza viva* permanece siempre la misma, aunque la cantidad de movimiento varíe quizá a cada instante en el Universo.³³

³² Tanto en su *Principia* como en su *Óptica*, Newton afirma que, como consecuencia de la acción mutua entre los planetas y los cometas, es muy seguro que no haya siempre la misma cantidad de movimiento. Estas afirmaciones le valieron una de las famosas confrontaciones con Leibniz (en la correspondencia Clarke-Leibniz), pero ello se verá en la segunda parte de este trabajo.

³³ « Quoique l'autorité ne doive point être comptée lorsqu'il s'agit de la vérité, cependant je me crois obligé de vous dire que M. Newton n'admettoit point les *forces vives*, car le nom de M. Newton vaut presque une objection : ce Philosophe examine dans la dernière Question de son *Optique* le mouvement d'un bâton inflexible (...) M. Newton conclut de cette considération, & de celle de l'inertie de la matière que le mouvement va sans cesse en diminuant dans l'Univers ; & qu'enfin notre Système aura besoin quelque jour d'être reformé par son Auteur, & cette conclusion étoit une suite nécessaire de l'inertie de la matière, & de l'opinion dans laquelle étoit M. Newton, que la quantité de la force étoit égale à la quantité du mouvement ; mais quand on prend pour force le produit de la masse par le quarré de la vitesse, il est aise de prouver que la *force vive* demeure toujours la même, quoique la quantité du mouvement varie peut être a chaque instant dan l'Univers ». (*Institutions de Physique*,

A primera vista, el asunto es de llamar la atención, pues pocos años después, en 1745, la misma Marquesa iniciará la traducción a su idioma de los *Principia* de Newton, a la cual le añadirá incluso un extenso comentario. En todo caso, hay una cuestión biográfica importante que puede explicar este aparente contrasentido.

Cuando Emilie de Breteuil escribió las *Institutions de Physique* tenía como profesor a un matemático alemán, Jean Samuel Koenig (1712-1757), quien era leibniziano; pero para la época en que traduce los *Principia*, ella ya había tenido una relación de mucho tiempo con Voltaire, el famoso newtoniano francés. Un fragmento del Prefacio histórico que el mismo Voltaire compone para la edición póstuma de esta traducción, nos sirve para ver por dónde iba la cuestión:

No era su primer intento, ella había dado antes al público una explicación de la filosofía de Leibniz bajo el título de *Instituciones de Física* (...) El discurso preliminar que está a la cabeza de esas *Instituciones* es una obra maestra de razón y de elocuencia: ella ha esparcido en el resto de su libro un método y una claridad que Leibniz no tuvo jamás (...) Después de haber hecho las imaginaciones de Leibniz inteligibles, su espíritu que había adquirido todavía más la fuerza y la madurez para ese trabajo, comprendió que esa Metafísica tan atrevida, pero tan poco fundamentada, no ameritaba sus investigaciones. Su alma estaba hecha para lo sublime, pero para la verdad (...) Así después de tener el coraje de embellecer a Leibniz, lo tuvo para abandonarlo (...) Deshecha de todo espíritu de sistema tomó como su regla aquella de la Sociedad Real de Londres, *Nullius in verba*; y es porque la bondad de su espíritu la había convertido en enemiga de partidos y de sistemas, que se entregó totalmente a Newton. En efecto Newton no fijó jamás un sistema, ni supuso jamás nada,

ni enseñó ninguna verdad que no fuera fundada sobre la más sublime Geometría o sobre experimentos incontestables.³⁴

De cualquier manera, Emilie sabía de Matemáticas, y no en vano había tenido algunos de los mejores profesores de su época, el mismo Koenig, Maupertuis y Clairaut (1713-1765), con quien de hecho escribió el comentario final a su traducción.

Ahora vayamos al tema de la *vis viva* visto por la Marquesa. En las *Institutions* Madame du Châtelet señala que hay dos tipos de fuerzas “Fuerza muerta, o Fuerza virtual, y Fuerza viva” y cómo se deben distinguir:

La *Fuerza muerta* consiste en una simple tendencia al movimiento: tal es la de un resorte listo para estirarse; y la *Fuerza viva* es la que un cuerpo tiene cuando está en un movimiento actual (...) Vemos ya que la fuerza muerta y la fuerza viva difieren entre ellas esencialmente, porque la una no produce efecto alguno, y que la otra produce un efecto real.³⁵

³⁴ «Ce n'étoit pas son coup d'essai, elle avoit auparavant donné au Public une explication de la Philosophie de Léibnitz sous le titre *d'Institutions de Physique* (...) Le Discours préliminaire qui est à la tête de ces *Institutions* est un chef d'œuvre de raison & d'éloquence: elle a répandu dans le reste du Livre une méthode & une clarté que Léibnitz n'eut jamais (...) Après avoir rendu les imaginations de Léibnitz intelligibles, son esprit qui avoit acquis encore de la force & de la maturité par ce travail même, compris que cette Métaphysique si hardie, mais si peu fondée, ne méritoit pas ses recherches. Son ame étoit faite pour le sublime, mais pour le vrai (...) Ainsi, après avoir eu le courage d'embellir Léibnitz, elle eut celui de l'abandonner (...) Défaite de tout esprit de système, elle prit pour sa règle celle de la Société Royale de Londres, *Nullis in verba*, & c'est parce que la bonté de son esprit l'avoit rendue ennemie des partis & des systèmes, qu'elle se donna toute entière à Newton. En effet Newton ne fit jamais de système, ne supposa jamais rien, n'enseigne aucune vérité qui ne fût fondée sur la plus sublime Géométrie ou sur des expériences incontestables ». (Voltaire, Préface Historique en *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, en edición facsimilar, Jaques Gabay, Paris, 1990, pp.V-VI.)(Las cursivas son mías.)

³⁵ «La *Force morte* consiste dans une simple tendance au mouvement : telle est celle d'un ressort prêt à se détendre ; & la *Force vive* est celle qu'un corps a lorsqu'il est dans un mouvement actuel (...) On voit déjà que la force morte & et la force vive différent entr'elles essentiellement, puisque l'une ne produit aucun effet, & que l'autre produit en effet réel ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XX, *op. cit.*, pp. 399 y 403.) (Las cursivas son mías.)

Tras distinguir entre *fuerzas vivas* y *muertas*, hace la defensa de las *vivas*, dándole el crédito a Leibniz por su descubrimiento.

El Sr. Leibniz que ha sido el primero en descubrir la verdadera *medida de la fuerza viva*, ha distinguido con mucho cuidado estas dos fuerzas [la *viva* y la *muerta*], y ha explicado tan bien sus diferencias que sería imposible equivocarse en este asunto y confundirlas, si en lugar de rebelarse contra este descubrimiento, se le hubiese examinado (...) Todas los experimentos han confirmado desde entonces este descubrimiento [las *fuerzas vivas*], lo que se le debe al Sr. Leibniz, y ellos han hecho ver que en todos los casos, la fuerza de los cuerpos que están en un movimiento actual, y finito, es proporcional al cuadrado de sus velocidades multiplicadas por sus masas, y esta estimación de las fuerzas se ha convertido en uno de los principios más fecundos de la Mecánica.³⁶

Concluye que no hay ninguna razón sustantiva para la controversia:

Los filósofos están de acuerdo sobre los experimentos que prueban esta estimación de las *fuerzas vivas* (...) Parecería, en principio, que no debería haber disputa alguna sobre esta materia.³⁷

³⁶ « M. de Leibnits qui a découvert le premier la véritable mesure de la force vive, a distingué avec beaucoup de soin ces deux forces [vives et mortes], & il a si bien expliqué leurs différences qu'il eût été impossible de s'y méprendre, & de les confondre, si au lieu de se révolter contre cette découverte, on l'avoit examinée (...) Toutes les expériences ont confirmé depuis cette découverte, dont on a l'obligation à M. de Leibnits, & elles ont fait voir que dans tous les cas, la force des corps qui sont dans un mouvement actuel, & fini, est proportionnelle aux quarrés de leurs vîtesses multipliées dans leur masse, & cette estimation des forces est devenue un des principes les plus féconds de la Méchanique ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XXI, *op. cit.*, pp. 419-420 y 423.) (Las cursivas son mías.)

³⁷ « Les Philosophes sont d'accord sur les expériences qui prouvent cette estimation des *forces vives* (...) Il sembleroit d'abord qu'il ne devoit y avoir aucune dispute sur cette matière ». (*Institutions de Physique*, Capítulo XXI, *op. cit.*, p.423.) (Las cursivas son mías.)

La intervención de D'Alembert en la disputa sobre las *fuerzas vivas* fue a partir de la otra fuerza que también Leibniz había concebido –que acabamos de ver con la Marquesa del Châtelet- la fuerza muerta o *vis mortua*.³⁸

La fuerza, además [de activa y pasiva], es de dos tipos: una elemental, que denomino también fuerza muerta, pues el movimiento todavía no existe en ella (...); la otra es fuerza común combinada con movimiento real, a la cual llamo fuerza viva [*vis viva*]. Un ejemplo de fuerza muerta es la fuerza centrífuga, y también, la fuerza de gravedad o fuerza centrípeta; asimismo, la fuerza con la que un cuerpo elástico estirado se empieza a restaurar.³⁹

Y la manera como emplea la *fuerza muerta* es mediante lo que actualmente se conoce como el *Principio de D'Alembert*. Este principio afirma que las *fuerzas muertas* tienen la característica de no realizar trabajo. Esto es, no producen movimiento, sino que, por el contrario, lo constriñen. Un ejemplo de este tipo de fuerza es la gravedad que cualquier persona resiente contra el suelo; el suelo produce una fuerza exterior que nos restringe de 'caer' más allá de él. Otro ejemplo es uno que Leibniz da de una honda, en la que ésta no deja que la piedra salga volando debido a la fuerza centrífuga. La tensión de la honda produce una fuerza centrípeta que se compensa con la fuerza centrífuga.⁴⁰ A su vez, la centrípeta es una fuerza de constricción puesto que limita el movimiento a ser circular y la centrífuga es resultado de la constricción.

Pero ahora veamos directamente a D'Alembert. De acuerdo con él, existen tres principios fundamentales en la Mecánica. El primero, la *fuerza de*

³⁸ En su tratado del *Specimen Dyanamicum* (1695), el suplemento de la *Breve demostración del error memorable de Descartes* (1686), Leibniz introduce la noción de *vis viva* pero, asimismo, la de *vis mortua*. De acuerdo con Mach, ello fue para revertir el asunto de la *medida de la fuerza* (ver *The Science of Mechanics, op. cit.*, p.364).

³⁹ Leibniz, *Specimen Dynamicum, op. cit.*, p.438 y 436-7. Lo referente a la distinción entre fuerzas activas y pasivas se verá en la segunda parte de este trabajo.

⁴⁰ *Ibid*, p.438.

inercia, por la cual los cuerpos permanecen en reposo o movimiento si no hay ninguna *causa* externa que cambie ese estado. (D'Alembert trata de evitar lo más posible la palabra fuerza y, por tanto, habla de causas):⁴¹

La fuerza de inercia, es decir, la propiedad que tienen los cuerpos de perseverar en su estado de reposo o de movimiento, habiendo sido ésta de una vez establecida, es claro que el movimiento, que necesita al menos de una causa para comenzar a existir, no sería tampoco acelerado o retardado sino por una causa ajena. ¿Mas cuales son las causas capaces de producir o cambiar el movimiento en los cuerpos? Las que conocemos hasta el presente son sólo de dos tipos: las unas se manifiestan a nosotros al mismo tiempo que el efecto que producen, o más bien, donde ellas son la ocasión: son aquellas que tienen su origen en la acción sensible y mutua de los cuerpos, resultado de su impenetrabilidad: ellas se reducen al impulso y a otras acciones derivadas de este último; todas las demás causas no se hacen conocer más que por su efecto, e ignoramos enteramente su naturaleza: tal es la causa que hace que los cuerpos pesantes caigan hacia el centro de la Tierra, aquella que mantiene los Planetas en sus órbitas, etc.⁴²

⁴¹ La cuestión de las causas del movimiento fue debatida por muchos. Entre otros, Maupertuis (1698-1759) sostendrá que “toda noción de fuerza carece de significación en el ámbito material; en realidad no es sino la proyección de nuestro propio sentimiento de esfuerzo, y en la medida en que los cuerpos no pueden experimentar sensaciones, tampoco pueden experimentar fuerzas. Se trata de un artificio útil en orden a cuantificar los movimientos, pero que nada nos enseña del modo como se transmiten estos”. *Essai de Cosmologie* citado en Ana Rioja, *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, Alianza, Madrid, 1985, p.103. Una afirmación muy similar a ésta de Maupertuis la hará el propio D'Alembert en la *Enciclopedia* en el artículo dedicado a las Fuerzas.

⁴² « *La force d'inertie*, c'est-à-dire la propriété qu'ont les Corps de persévérer dans leur état de repos ou de Mouvement, étant une fois établie, il est clair que le Mouvement, qui a besoin d'une cause pour commencer au moins à exister, ne sauroit non plus être accéléré ou retardé que par une cause étrangere. Or quelles sont les causes capables de produire ou de changer le Mouvement dans les Corps ? Nous n'en connoissons jusqu'à présent que de deux sortes : les unes se manifestent à nous en même-tems que l'effet qu'elles produisent, ou plutôt dont elles sont l'occasion : ce sont celles que ont leur source dans l'action sensible & mutuelle des Corps, résultante de leur impénétrabilité : elles se réduisent à l'impulsion & à quelques autres actions dérivées de celle-là : toutes les autres causes ne se font connoître que par leur effet, & nous en ignorons entièrement la nature : telle est la cause qui fait tomber les Corps pesans vers le centre de la Terre, celle qui retient les Planètes dans leurs orbites, &c ».

El segundo principio es el de *movimiento compuesto* (lo que actualmente se conoce como la ley del paralelogramo de fuerzas):

Todo lo que nos enseña en este caso el principio de la fuerza de inercia, es que el móvil no puede más que tender a describir una línea recta, y a describirla uniformemente: pero eso no hace conocer ni la velocidad ni la dirección. Se ve uno obligado, entonces, a recurrir a un segundo principio, que es aquel al que llaman la composición de movimientos, y por el cual se determina el movimiento único de un cuerpo que tiende a moverse siguiendo, al mismo tiempo, diferentes direcciones con velocidades dadas.⁴³

El tercero es el *principio de equilibrio*:

Con respecto a las leyes de movimiento [compuestos y descompuestos], es claro (...), que en general no se necesita para determinar esas leyes más que tener bien constatadas aquellas del equilibrio (...) Dos cuerpos en los que las direcciones son opuestas, se ponen en equilibrio cuando sus masas están en razón inversa a sus velocidades con las que tienden a moverse.⁴⁴

Este último principio es una manera sofisticada de expresar la ley de equilibrio de Arquímedes, pero lo que demostrará con él y los dos anteriores

(Prefacio al *Traité de la Dynamique*, en edición facsimilar (de 1758), Jaques Gabay, Paris, 1990 pp.X-XI.)

⁴³ « Tous ce que nous apprend dans ce cas le principe de la force d'inertie, c'est que le mobile ne peut tendre qu'à décrire une ligne droite, & à la décrire uniformément : mais cela ne fait connoître ni sa vitesse ni sa direction. On est donc obligé d'avoir recours à un second principe, c'est celui qu'on appelle la composition des Mouvements, & par lequel on détermine le Mouvement unique d'un Corps qui tend à se mouvoir suivant différents directions à la fois avec des vitesses données ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, pp.XII-XIII.)

⁴⁴ « A l'égard des loix du Mouvement [composés et décomposés], il est clair (...), qu'en général il ne faut pour déterminer ces loix, qu'avoir bien constaté celles de l'équilibre (...) Deux Corps dont les directions sont opposées, se font équilibre quand leurs masses sont en raison inverse des vitesses avec lesquelles ils tendent à se mouvoir ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XIV.)

D'Alembert es que las leyes de la dinámica se pueden obtener como una generalización de las leyes de la estática. Esto es, el estudio del equilibrio, bajo la acción de diversas fuerzas y de constricciones entre los cuerpos, se puede extender al caso de cuerpos que se están moviendo.

El principio de equilibrio unido a los de la fuerza de inercia y del movimiento compuesto, nos conducen, por tanto, a la solución de todos los problemas donde se considere el movimiento de un cuerpo (...) De estos principios combinados se puede, pues, deducir fácilmente las leyes del movimiento de los cuerpos que chocan entre sí de una manera cualquiera, o que se tiran por medio de algún cuerpo interpuesto entre ellos, y al cual están atados.⁴⁵

Esto es la descripción en palabras de lo que posteriormente habrá de ser el *Principio de D'Alembert*. Ahora bien, una vez que ha presentado una visión panorámica de qué se debe entender por Mecánica, hace algunas reflexiones sobre el concepto de fuerza y, en particular, de la querella de las *fuerzas vivas*. A continuación presento lo referente al concepto de fuerza en general:

Todo lo que vemos muy distintamente en el movimiento de un cuerpo es que recorre cierto espacio y que le toma un cierto tiempo recorrerlo. Es pues de esta sola idea que se deben sacar todos los Principios de la Mecánica, cuando se los quiere demostrar de una manera clara y precisa; así no será una sorpresa que como consecuencia de esta reflexión yo haya, por así decirlo, desviado la vista de las *causas motrices*, para considerar únicamente el movimiento que ellas producen, que he enteramente proscrito las fuerzas inherentes a los cuerpos en movimiento,

⁴⁵ « Le Principe de l'équilibre joint à ceux de la force d'inertie & du Mouvement composé, nous conduit donc à la solution de tous les Problèmes où l'on considere le Mouvement d'un Corps (...) De ces Principes combinés on peut donc aisément déduire les loix du Mouvement des Corps que se choquent d'une maniere quelconque, ou qui se tirent para le moyen de quelque Corps interposé entr'eux, & auquel ils sont attachés ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XV.)

seres oscuros y metafísicos, que sólo son capaces de cubrir con tinieblas una ciencia clara por sí misma.⁴⁶

Lo siguiente es su sentir acerca de la controversia de las *fuerzas vivas*:

Es por esta razón que creí conveniente no entrar en el examen de la famosa cuestión de las *fuerzas vivas*. Esta cuestión que desde hace treinta años divide a los geómetras consiste en saber si la fuerza de los cuerpos en movimiento es proporcional al producto de la masa por la velocidad, o al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad: por ejemplo, si un cuerpo doble de otro y que tiene tres veces más velocidad tiene dieciocho veces más de fuerza o seis veces solamente. No obstante las disputas que esta cuestión ha causado, la inutilidad perfecta que es para la mecánica me condujo a no hacer ninguna mención en la obra que presento hoy: no creo, sin embargo, que deba pasar enteramente en silencio una opinión, sobre la cual *Leibniz* creyó poder hacerse honor como de un descubrimiento.⁴⁷

Tras de dar su opinión acerca de controversia, D'Alembert menciona a algunos personajes que según él contribuyeron a interesar al público en este

⁴⁶ « Tout ce que nous voyons bien distinctement dans le Mouvement d'un Corps, c'est qu'il parcourt un certain espace, & qu'il employe un certain tems à le parcourir. C'est donc de cette seule idée qu'on doit tirer tous les Principes de la Méchanique, quand on veut les démontrer d'une maniere nette & précise; ainsi on ne sera point surprise qu'en conséquence de cette réflexion, j'aie, pour ainsi dire, détourné la vûe de dessus les *causes motrices*, pour n'envisager uniquement que le Mouvement qu'elles produisent; que j'aie entièrement proscrit les forces inhérentes au Corps en Mouvement, êtres obscurs & Métaphysiques, qui ne sont capables que de répandre les ténèbres sur une Science claire par elle-même ». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, pp.XVI-XVII.) (Las cursivas son del autor.)

⁴⁷ «C'est par cette raison que j'ai cru ne devoir point entrer dans l'examen de la fameuse question des *forces vives*. Cette question qui depuis trente ans partage les Géometres, consiste à savoir, si la force des Corps en Mouvement est proportionnelle au produit de la masse par la vitesse: par exemple, si un Corps double d'un autre, & qui a trois fois autant de vitesse, a dix-huit fois autant de force ou six fois autant seulement. Malgré les disputes que cette question a causées, l'inutilité parfaite dont elle est pour la Méchanique, m'a engagé à n'en faire aucune mention dans l'Ouvrage que je donne aujourd'hui: je ne crois pas néanmoins devoir passer entièrement sous silence une opinion, dont *Leibnitz* a cru pouvoir ce faire honneur comme d'une découverte». (Prefacio al *Traité de la Dynamique*, *op. cit.*, p.XVII.) (Las cursivas son del autor.)

tema. Como dato curioso, está el hecho de que en la edición de 1743, menciona “los escritos de una dama ilustre por su espíritu y por su sabiduría”, la cual parece no ser otra que, Madame del Châtelet; pero en la edición de 1758, la referencia a la “dama” la sustituye por la de “un gran número de matemáticos ilustres”.⁴⁸

Sin embargo, para D’Alembert, los tres principios que él expone son suficientes para describir el estado de reposo (equilibrio) o de movimiento de los cuerpos, sin necesidad de entrar en discusiones que él considera inútiles. Como hará ver más adelante: dependiendo de las cantidades observables (distancias recorridas o tiempos dados) que se consideren para dar cuenta del movimiento, se obtendrá un efecto determinado. Más explícitamente (cito en dos partes).

Ya sea que un cuerpo tenga una cierta tendencia a moverse con una cierta velocidad, tendencia detenida por un obstáculo; ya sea que se mueva real o uniformemente con esa velocidad; ya sea que finalmente empiece a moverse con esa velocidad, la cual se consume y aniquila poco a poco por alguna causa que pueda ser; en todos esos casos, el efecto producido por el cuerpo es distinto, pero el cuerpo considerado en sí mismo no tiene nada más en un caso que en otro; solamente la acción de la causa que produce el efecto ha sido aplicado en forma distinta.

En esta primera parte de la cita, lo que D’Alembert muestra es que lo único que se puede percibir del movimiento son sus efectos. Sin embargo, lo

⁴⁸ Existen dos ediciones del *Tratado de Dinámica* de D’Alembert, una de 1743 y otra de 1758, la cual fue corregida y ampliada por el mismo autor. En la edición de 1743 D’Alembert escribe: “& à laquelle enfin les écrits d’une Dame illustre par son esprit & par son savoir ont contribué à intéresser le Public” (Prefacio al *Traité de Dynamique*, en edición facsimilar (de 1743), Culture et Civilization, Bruselas, 1967, p.XVII). En la edición de 1758, se lee: “& à laquelle enfin les écrits d’un grand nombre de Mathématiciens illustres ont contribué à intéresser le Public” (Prefacio al *Traité de Dynamique*, op. cit., p.XVIII).

que es más interesante es cuando dice que la “tendencia al movimiento puede ser detenida por algún obstáculo”, pues no siempre se refiere a obstáculos, en el sentido de cuerpos impenetrables, sino que al parecer lo que tiene en mente son ‘fuerzas’ como las que produce un resorte. De ahí que, como se ve en la segunda parte de la cita, el “efecto se reduce a una simple tendencia (...) ya que no resulta ningún movimiento”. Esto es, el cuerpo tiene una velocidad virtual, lo que significa que podría desplazarse (aunque no lo haga) en cualquier sentido y dirección permitida por las constricciones impuestas por un obstáculo, sea éste una superficie (i.e. algo impenetrable) pero también una ‘fuerza’ del tipo centrípeta o centrífuga, como en el caso de una piedra atada a una honda o de una balanza.

En el primer caso [un cuerpo detenido por un obstáculo] el efecto se reduce a una simple tendencia que no tiene propiamente medida precisa, ya que no resulta ningún movimiento; en el segundo [velocidad uniforme] el efecto es el espacio recorrido en un tiempo dado, y ese efecto es proporcional a la velocidad; en el tercero [movimiento contra un obstáculo que lo frena] el efecto es el espacio recorrido hasta la extinción total del movimiento, y este efecto es como el cuadrado de la velocidad. Mas estos diferentes efectos son efectivamente producidos por una misma causa; así pues aquellos que dicen que la fuerza es ya como la velocidad, ya sea como su cuadrado, no pudieron oír hablar más que del efecto, cuando se expresaron de la fuerza.⁴⁹

⁴⁹ « *Soit qu'un Corps ait une simple tendance à se mouvoir avec une certaine vitesse, tendance arrêtée par quelque obstacle ; soit qu'il se meuve réellement & uniformément avec cette vitesse, laquelle se consume & s'anéantisse peu à peu par quelque cause que ce puisse être ; dans tous ces cas, l'effet produit par le Corps considéré en lui-même n'a rien de plus dans un cas que dans un autre ; seulement l'action de la cause que produit l'effet est différemment appliquée. / Dans le premier cas, l'effet se réduit à une simple tendance, qui n'a point proprement de mesure précise, puisqu'il n'en résulte aucun mouvement ; dans le second, l'effet est l'espace parcouru uniformément dans un tems donné, & dans le troisième, l'effet est l'espace parcouru jusqu'à l'extinction totale du Mouvement, & cet effet est comme le quarré de la vitesse. Or ces différens effets sont évidemment produits par une même cause ; donc ceux qui on dit*

4.4.2 El desenlace de la polémica

En este apartado analizaré algunos juicios que se han hecho en la época actual acerca de la controversia de las *fuerzas vivas* . En particular, de la posición que tomó D'Alembert al respecto. Para ello, me referiré a tres artículos de estudiosos de la Historia de la Filosofía Natural: "The *Vis viva* Controversy, a Post-Mortem" de Lawrence Laudan, "D'Alembert and the *Vis viva* Controversy" de Carolyn Iltis y "La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler", de Juan Arana.

En sus artículos, tanto Laudan como Carolyn Iltis sostienen, refiriéndose a autores clásicos como Ernest Mach, que la fecha en la que se suele dar por terminada la controversia sobre las *fuerzas vivas* es el año 1743, con la publicación del *Tratado de Dinámica* de D'Alembert. Pero, después de todo, no fue así sino que duró muchos años más.⁵⁰

Al respecto es importante analizar al menos dos cuestiones. Uno: ¿qué se entiende por el término de una controversia? Dos: ¿cuál fue realmente la posición de D'Alembert respecto a las *fuerzas vivas* ?

Si consideramos la primera pregunta, podemos ver que hay varias polémicas que supuestamente se han dirimido, pero cuando se las analiza desde otra perspectiva se ve que no es así. Como ejemplo se puede dar el caso del éter. Muchos físicos, como por ejemplo, Poincaré (1854-1912),

que la force étoit tantôt comme la vitesse, tantôt comme son carré, n'ont pu entendre parler que de l'effet, quand ils se sont exprimés de la sorte». (Prefacio al *Traité de la Dynamique* , *op. cit.* , pp.XXII-XXIII.) (Las cursivas son mías.)

⁵⁰ Ver L. Laudan en "The *Vis viva* Controversy, a Post-Mortem", *Isis* , 59, 1968, p.131 y C. Iltis en "D'Alembert and the *Vis Viva* Controversy" en *Studies in History and Philosophy of Science* , 1, núm. 2, 1970, p.135. El pasaje de Mach al que se refieren Laudan e Iltis es el siguiente: "The dispute raised by Leibniz rested, therefore, on various *misunderstandings* . It lasted fifty-seven years, till the appearance of D'Alembert's *Traité de dynamique* , in 1743" (ver *The Science of Mechanics* , *op. cit.* , p.365). (Las cursivas son del autor.)

seguían pensando que había éter aún después de la aparición, en 1905, de la Teoría de la Relatividad de Einstein (1879-1955). Siguiendo con el ejemplo del éter, tenemos el caso de Fontenelle (1657-1757), quien fuera secretario de la Academia de las Ciencias desde 1699, y que siempre estuvo adherido al modelo cosmológico de los torbellinos cartesianos.

Con relación a la segunda pregunta, la realidad es que D'Alembert no pretendió dirimir la cuestión de la *vis viva*, sino que escribió: “no es más que una disputa de palabras, si se considera que las dos partes están enteramente de acuerdo sobre los principios fundamentales del equilibrio y el movimiento”.⁵¹ De hecho, en su edición de 1743 (como en la de 1758) hay un apartado dedicado a la presentación de los principios para la *conservación de las fuerzas vivas* que, dicho sea de paso, él atribuye su correcta formulación a Huygens.

El Sr. *Huyghens* es el primero, que yo sepa, que ha hecho mención de estos dos principios [*del movimiento constreñido de los cuerpos con o sin fuerzas externas*]. Yo acometo la tarea de dar, en este capítulo, si no una demostración general para todos los casos, al menos los principios suficientes para encontrar la demostración en cada caso particular.⁵²

Y en la *Enciclopedia*⁵³ escribe:

⁵¹ « Elle n'est qu'un dispute de mots, s'ils considerent que les deux partis sont d'ailleurs entièrement d'accord sur les principes fondamentaux de l'équilibre & du mouvement ». (Prefacio al *Traité de Dynamique*, *op. cit.*, p.XXIII.)

⁵² « M. Huyghens est le premier, que je sache, qui ait fait mention de ces deux principes (...) J'entreprends de donner dans ce Chapitre, sinon un démonstration générale pour tous le cas, au moins le principes suffisans pour trouver la démonstration dans chaque cas particulier ». (*Traité de Dynamique*, *op. cit.*, capítulo IV, p.253.) Los corchetes contienen los principios a los que D'Alembert hace referencia pero enunciados en la forma moderna.

⁵³ La *Enciclopedia* fue presentada al público por primera vez entre 1751 y 1777. Consta de 35 volúmenes, de los cuales 28 se publicaron entre 1751-1766 y los otros 7 entre 1772-1777. En 1780 aparecieron dos volúmenes conteniendo el Índice. La edición y publicación estuvieron a cargo de Diderot, miembro de la Academia de las Ciencias y Bellas Artes de Prusia, y la parte matemática se le encomendó a

En mi tratado de Dinámica impreso en 1743, demostré *el principio de la conservación de las fuerzas vivas* en todos los casos posibles; e hice ver que depende de ese otro principio, que cuando dos potencias hacen equilibrio, las velocidades virtuales de los puntos donde ellas son aplicadas, evaluadas según la dirección de esas potencias, están en razón inversa de esas mismas potencias. Este último principio es reconocido desde hace mucho tiempo por los Geómetras para el principio fundamental del equilibrio, o al menos para una consecuencia necesaria del equilibrio.⁵⁴

Esto es, D'Alembert no sólo no pretende dirimir la controversia sino que incluso demuestra de manera rigurosa un teorema sobre la conservación de la *vis viva*.

El otro estudioso de la Historia de la filosofía natural que, asimismo, distorsiona la posición de D'Alembert con respecto a la controversia de las *fuerzas vivas* es Juan Arana. En el artículo mencionado dice:

Desde el punto de vista de la historiografía se ha desconocido prácticamente hasta hoy la importancia tanto científica como filosófica y epistemológica de la evolución del concepto de fuerza, confundándose en una misma rúbrica tanto las contribuciones que deben ser consideradas creaciones intelectuales de primera magnitud como los más desgraciados y nimios sucesos de la polémica de las fuerzas vivas, que ningún historiador serio puede valorar positivamente. Seguramente, el principal culpable de que en este caso la historia se haya escrito sin guardar mucha

D'Alembert, miembro, en ese tiempo, de la Academia Real de las Ciencias de Paris, de Prusia y de la Real Sociedad de Londres.

⁵⁴ « Dans mon traité de Dynamique imprimé en 1743, j'ai démontré le principe de la conservation des *forces vives* dans tous le cas possibles ; & j'ai fait voir qu'il dépend de cet autre principe, que quand des puissances se font équilibre, le vîtesses virtuelles des points où elles sont appliquées, estimées suivant la direction de ces puissances, sont en raison inverse de ces mêmes puissances. Ce dernier principe est reconnu depuis longtems par les Géomètres pour le principe fondamental de l'équilibre, ou du moins pour une conséquence nécessaire de l'équilibre ». *Encyclopédie* (Forces) –en línea- diderot.alembert.free.fr

fidelidad a lo que realmente sucedió es el juicio vertido a este respecto por D'Alembert.⁵⁵

Así, nuevamente, lo que nos encontramos es una afirmación que no hace justicia a la participación que tuvo D'Alembert en la cuestión. En cualquier caso, ésta no es la única, sino que hay otra más que destaca:

En resumen: D'Alembert rechaza la fuerza, y en especial la fuerza leibniziana, porque no la necesita para sistematizar deductivamente la mecánica (...) Desde esta perspectiva se puede afirmar que si la noción [de fuerza] ha dejado de tener el valor central que tuvo en los siglos XVII y XVIII, no es tanto porque los adversarios de la noción impusieron sus razones, sino porque más bien impusieron la interpretación que en el futuro se habría de dar al término.⁵⁶

Lo que muestra que el autor pasa por alto la verdadera contribución de D'Alembert a la Física y a la Matemática, la cual posteriormente dará lugar a la Mecánica Analítica.

⁵⁵ “La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler”, en *Anuario Filosófico*, 20, núm. 1, 1987, p.35.

⁵⁶ “La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler”, *op. cit.*, p.38-39.

CAPÍTULO 5. EL ESTATUS ONTOLÓGICO DE LA FUERZA EN EL MECANICISMO CARTESIANO

Chez vos cartésiens, tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend guère ...¹

Voltaire

En los capítulos siguientes presentaré el estatus ontológico de las fuerzas para Newton y para Leibniz. Ahora bien, debido a que para hacer un análisis histórico de este tema, el pensamiento de Descartes es primordial, en este capítulo haré una exposición del estatus de su *fuerza*. Para ello, seguiré de cerca la interpretación de algunos especialistas en la cuestión; sin embargo, es importante señalar que la manera en la que estos autores modernos entienden a Descartes es muy disímil entre sí. La razón de esto estriba en que algunos conciben que la ‘fuerza’ para Descartes es una entidad real, mientras que otros consideran que dicha noción era tan sólo una forma de hablar acerca de lo que causa los fenómenos naturales.

5.1 La ‘fuerza’ cartesiana

La palabra *fuerza* –dice Westfall- aparece de manera profusa en los escritos de Descartes; probablemente la frecuencia con que la usó hizo que se la seleccionara como el nombre del concepto central de la dinámica.² Sea esto último estrictamente cierto o no, el caso es que la ‘fuerza’ formará parte de todos los estudios de filosofía natural en los siglos XVII y XVIII.

¹ *Lettres Philosophiques* (1734), Flammarion, Paris, 1984, p.90.

² Ver R. Westfall, *Force in Newton's Physics*, Apéndice B: “Descartes’ Usage of Force”, *op. cit.*, p.529.

La idea de 'fuerza' tiene varios sentidos para Descartes, lo que no es de sorprender, porque como se vio en el capítulo anterior, en esa época no se tenía aún una definición precisa, e incluso pasaría mucho tiempo antes de que se pudiera tener.³ Lo que sí es desconcertante es que no haya un acuerdo acerca del estatus ontológico que le da, pues por ejemplo, Jammer es de la opinión que rechazaba completamente su existencia:

Su completa dicotomía entre la existencia de pura materia y puro espíritu parecían ser para él incompatibles con la asunción de fuerzas en la materia o fuerzas ejercidas por la materia, ya que la fuerza, desde su punto de vista, es una noción un tanto anímica todavía. La materia debe ser desposeída de todos los constituyentes espirituales, de todas las formas inherentes o tendencias. Sólo la extensión y el movimiento eterno son sus características (...) Sobre la base del principio de inercia, Descartes pensó que sería posible eliminar a la fuerza como un concepto físico separado. Todos los fenómenos físicos, afirmaba, deben ser, deducidos de sólo dos suposiciones cinemáticas: la ley de la conservación de la cantidad de movimiento – que para él no era un corolario de su principio de inercia sino su verdadero contenido físico –y su teoría de vórtices giratorios de éter (...) *El concepto de fuerza, desde el punto de vista de Descartes, no tenía lugar en su física, la cual empleaba exclusivamente concepciones matemáticas.*⁴

Sin embargo, para Gabbey esta interpretación de Jammer es una simplificación, incluso una distorsión, pues afirma que es claro, a partir de una lectura detenida del *corpus* cartesiano (incluida la correspondencia), que la

³ Westfall presenta ejemplos de, al menos, trece maneras distintas en las que se puede entender la noción de fuerza de Descartes. Como *cantidad de movimiento*, *medida de cambio de movimiento*, *lo que imprime el movimiento*, *fuerza de movimiento*, *fortaleza*, lo que actualmente se conoce como *energía (mecánica)*, *fuerza de equilibrio*, *fuerza para alejarse del centro del círculo*, lo que hoy se define como *trabajo*, *poder*, *violencia*, una especie de *acción-reacción* (à la Newton) y nuestra *energía cinética*. (Ver *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, pp.529-534.)

⁴ Jammer, *Concepts of Force*, *op. cit.*, pp.103-104. (Las cursivas son mías.)

'fuerza' es un rasgo distintivo del mundo mecánico que Descartes nos presenta:

*Si bien su último fundamento es Dios, y si bien no es inherente a los cuerpos en un sentido leibniziano, puede y de hecho aparece en las discusiones físicas como una causa natural y real identificable en los cuerpos. Para propósitos metafísicos y propagandísticos, Descartes insiste en que sólo la extensión es la esencia de los cuerpos, pero esto no significa que la fuerza se deba alinear con el color, olor, dureza y las otras cualidades subjetivas que él destierra del reino de lo corpóreo.*⁵

Por tanto, dice Gabbey que para Descartes, si bien la 'fuerza' está fundada en última instancia en Dios, en el estudio del mundo natural es una causa real:

*Dios es, estrictamente hablando, la última causa real, y es la única sustancia verdadera, pero en el nivel práctico de la investigación física, las fuerzas, sean de movimiento o de reposo, son causas por derecho propio, distintas del movimiento y del reposo, y son en efecto propiedades reales pertenecientes al cuerpo. En esto Descartes sostenía una concepción más realista de la fuerza que muchos de los cartesianos posteriores.*⁶

Ahora bien, una de las razones por las que las versiones acerca del estatus que la 'fuerza' tenía para Descartes sean tan dispares, se debe en parte a algo que el mismo Gabbey señala:

La interpretación de la fuerza dentro de las categorías cartesianas de sustancia, atributo, cualidad, modo y causa es difícil y, a menudo, depende del contexto.⁷

⁵ A. Gabbey, "Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics" en *Studies in History and Philosophy of Science*, 2, núm. 1, 1971, pp.7-9. (Las cursivas son mías.)

⁶ *Ibid*, p.9. (Las cursivas son mías.)

⁷ *Ibidem*, p.9.

Pues –continúa Gabbey- la *fuerza cartesiana* puede ser:

*Un modo en el sentido llano de que no es una sustancia, como el cuerpo o la mente, pero está en la sustancia creada como un efecto de la conservación y actividad creativa de Dios. Pero también es la causa de la disposición modal de un cuerpo, tal como estar en reposo o efectuando un movimiento particular, por lo que en este sentido es equivalente a la acción de Dios y, por tanto, no es un modo con respecto a la *translatio* o reposo ya que es ontológicamente anterior a ellos.⁸*

Una interpretación que sigue una línea parecida a la de Gabbey, es una de Gueroult, aunque a mi juicio un tanto extrema para el caso de la física cartesiana, pues dice:

Si es posible concebir la sustancia sin modo, la extensión sin movimiento geométrico definido, es imposible concebir que la sustancia extensa pudiera existir sin poseer una fuerza (de reposo o movimiento), pues ello sería concebir que [la sustancia] pudiera existir sin existir.⁹

Esto es, Gueroult supone que la *fuerza cartesiana* es la causa que mantiene a un cuerpo existiendo con tal o cual modo.¹⁰

Ahora bien, las interpretaciones de Gabbey y de Gueroult son similares, en tanto que la 'fuerza' es algo que realmente existe para Descartes; de cualquier manera hay una clara diferencia entre ellas: mientras para Gabbey la *fuerza cartesiana* reside tanto en los cuerpos como en Dios, para Gueroult ésta

⁸ *Ibid* (Las cursivas son mías.)

⁹ Gueroult, «Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche», *Revue de Métaphysique et de Morale* (1954), citado en A. Gabbey, *op. cit.*, p.9.

¹⁰ Ver Gabbey, *op. cit.*, p.9

sólo reside en la materia. En todo caso, estas no son las únicas interpretaciones. Hay una de Hatfield que establece que la 'fuerza' para Descartes está literalmente en Dios y no en los cuerpos.¹¹

Después de todo, el punto de vista que asigna a Descartes un tratamiento totalmente geométrico del movimiento y de la materia se sostiene; *Descartes apartó el agente causal del mundo material y lo puso en las manos de Dios y las mentes creadas, esto es, en las manos de las sustancias inmatrimales dotadas con el poder de actuar sobre la materia.*¹²

De acuerdo con Garber, comentador asimismo de Descartes, la versión de Hatfield resuelve aparentemente el problema ontológico que concierne a cómo las fuerzas o las propiedades tendenciales pueden estar en cosas meramente extensas, como lo son supuestamente los cuerpos cartesianos. Sin embargo, afirma Garber, se aviene mal a la 'fuerza' que explícitamente Descartes atribuye a los cuerpos.¹³

Garber hace referencia, asimismo, a los planteamientos de Gabbey y Gueroult, pero afirma que no obstante que los puntos de vista de estos autores son atractivos, no son satisfactorios del todo. Para ello, cita artículos posteriores (a los que presento) de cada uno de estos autores, pero que en esencia contienen lo mismo.¹⁴

¹¹ La ocasión de esta diversidad de interpretaciones son las *leyes de la naturaleza*, como se podrá apreciar más abajo.

¹² G. Hatfield, "Force (God) in Descartes' Physics", *Studies in History and Philosophy of Science* (1979), citado en Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, *op. cit.*, p.374. (Las cursivas son mías.)

¹³ Ver Garber, *op. cit.*, p.294.

¹⁴ Los artículos son: A. Gabbey, "Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton" y M. Gueroult, "The Metaphysics and Physics of Force in Descartes" en S. Gaukroger, (ed.), *Descartes' Philosophy, Mathematics and Physics*, Harvester Press, Sussex, 1980.

Garber concede que, bajo la perspectiva de Gabbey, se puede entender que la *fuera cartesiana*, aun estando fundada en Dios, puede estar realmente en los cuerpos. Sin embargo, le objeta la identificación que hace entre las ideas cartesianas de la conservación del mundo y la de causar el movimiento. Según Garber, estas ideas no se deben equiparar, pues el 'impulso divino' por el cual Dios causa el movimiento es una acción distinta de la que mantiene los cuerpos en su existencia:¹⁵

*El impulso que causa el movimiento proviene directamente de Dios, y así, es Su impulso directo, por así decirlo, el que mantiene las cosas en movimiento. Entendido de esta manera, la ley de la conservación es una consecuencia directa del compromiso de Dios de seguir empujando, como fue, y seguir empujando tan diligentemente como hizo cuando puso el mundo en movimiento. Es una expresión directa del compromiso de Dios de continuar el trabajo de la creación al mantener los cuerpos y al mantener el esfuerzo necesario para tenerlos en movimiento. Pero debe señalarse que, mientras Descartes parece sostener que Dios es la causa inmediata del movimiento en el mundo, el argumento para el principio de conservación no necesita depender de la doctrina del impulso directo de Dios.*¹⁶

Un pasaje del propio Descartes nos permitirá ver que es lo que Gabbey toma en consideración para su afirmación y que Garber le objeta. En el tratado de *El Mundo*, donde aparece una primera versión de sus tres leyes de movimiento, añade, y esto es importante, un argumento que sirve como justificación de las dos primeras:

¹⁵ Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, op. cit., p.297.

¹⁶ Garber, op. cit., p.283. (Las cursivas son mías.)

Es claro que estas dos reglas [*continuación del movimiento y cambio de movimiento*] se siguen manifiestamente del sólo hecho de que Dios es inmutable y de que, actuando siempre del mismo modo, produce siempre el mismo efecto. *Suponiendo que ha puesto una determinada cantidad de movimientos en toda la materia en general desde el primer instante que la creó, es preciso sostener que conserva siempre la misma cantidad, o bien creer que no actúa siempre de la misma manera.*¹⁷

Como se ve en esta cita, hay una relación obvia entre la ‘cantidad de movimiento’ dada por Dios a toda la materia y su ‘conservación’, que es lo que Gabbey pone de manifiesto. Garber también ve esta relación, sin embargo, señala que:

La conexión directa entre Dios como el que mantiene el mundo y Dios como la causa del movimiento ha sugerido que la conservación de los cuerpos y la conservación del movimiento son, en *cierto* sentido, una y la misma cosa.¹⁸

Líneas más adelante, continúa:

Los cuerpos pueden ser conservados con o sin impulso divino. Sin impulso, están en reposo, con él, están en movimiento (...) Lo que Dios conserva directamente no es el efecto, sino su causa, la impulsión que introdujo en el mundo en su creación, la causa que resulta en movimiento (...) Esta impulsión es entendida como un empuje real, algo que sólo puede ser entendido en analogía con la manera en la que nosotros causamos movimiento en los cuerpos. La conservación de Dios de los

¹⁷ Descartes, *El Mundo. Tratado de la luz*, capítulo 7, *op. cit.*, p.121. La tercera ley en *El Mundo* es la que se refiere a la *tendencia a la rectilineidad en el movimiento*. (Las cursivas son mías.) Ver asimismo *Principios de la filosofía* (2:36-40).

¹⁸ Garber, *op. cit.*, p.275. (Las cursivas son del autor.)

*cuerpos, por tanto, parece separable de Su actuación como causa del movimiento.*¹⁹

Otro pasaje de Descartes nos puede ayudar a aclarar qué es a lo que Garber se refiere. En el mismo *Mundo*, sólo que unas líneas más atrás de la cita anterior se lee:

*Para entenderlo mejor recordad que, entre las cualidades de la materia, hemos supuesto que sus partes tenían distintos movimientos desde su creación (...). De donde se sigue necesariamente que, desde entonces, al comenzar a moverse, han empezado también a cambiar y a diversificar sus movimientos por el choque entre unas y otras, de manera que si bien Dios las conserva del mismo modo que las ha creado, no las conserva en el mismo estado (...). Es fácil creer que Dios –quien, como todo el mundo sabe, es inmutable- actúa siempre del mismo modo.*²⁰

Por tanto, en lo que Garber pone énfasis es en el hecho de que Dios ha conservado la materia desde la creación, pero no así los movimientos individuales. Lo que aparentemente implica que, directamente hace que la materia persista, empero la cantidad de movimiento total es sólo consecuencia de Su inmutabilidad. Un pasaje más en *El Mundo* parece apoyar esta conclusión.

Del hecho de que Dios conserva [la materia] se sigue necesariamente que debe haber numerosos cambios en sus partes que, no pudiendo propiamente –según me parece- atribuirse a la acción de Dios porque la

¹⁹ Garber, *op. cit.*, p.278. (Las cursivas son mías.)

²⁰ Descartes, *El Mundo*, capítulo 7, *op. cit.*, p.111. (Las cursivas son mías.) Ver asimismo *Principios de la filosofía* (2:36).

materia no cambia en nada, los atribuyo a la naturaleza; y denomino leyes de la naturaleza a las reglas que han seguido aquellos cambios.²¹

Contra el punto de vista de Gueroult, Garber sostiene que si bien las fuerzas de movimiento pueden, en cierto sentido, ser acopladas a los cuerpos como conectadas con su existencia y duración, no se deben confundir con estos modos; a diferencia de éstos las fuerzas de movimiento y de reposo son cambiantes.²²

Garber concluye este tema diciendo que no puede haber una visión completamente satisfactoria de la ontología de la fuerza de Descartes. Una que sea coherente y consistente con lo que dice en todos sus escritos. Pero sugiere que hay una manera de concebir la 'fuerza' en la física cartesiana, si bien ésta no se halla expresamente en ninguna parte.²³

Las fuerzas pueden ser vistas simplemente como formas de hablar acerca de cómo Dios actúa (...) La fuerza no está en ninguna parte, estrictamente hablando, ni en Dios, quien es la causa real de todo el movimiento en el mundo inanimado, ni en los cuerpos, que son los recipientes del movimiento que Dios causa.²⁴

Termino este apartado diciendo que en realidad lo que Garber quiere poner sobre la mesa, es algo que dice en otra parte de su texto: los problemas de la causalidad del mundo y el de las fuerzas, aunque relacionados, son distintos; incluso determinando los agentes causales, queda todavía la

²¹ *El Mundo*, capítulo 7, *op. cit.*, pp.109 y111. (Las cursivas son mías.) Ver asimismo *Principios de la filosofía* (2:36).

²² Ver Garber, *op. cit.*, p.296.

²³ Ver Garber, *op. cit.*, p.297.

²⁴ Garber, *op. cit.*, p.298. (Las cursivas son mías.)

pregunta acerca de dónde encajan las fuerzas en las leyes de la naturaleza.²⁵ Para Garber el verdadero agente causal es Dios y, en segundo término, las leyes del movimiento, de ahí que las fuerzas no sean causas realmente, a diferencia de lo que suponen Gabbey, Gueroult y Hatfield. Puesto de otra manera, aun cuando Descartes habla manifiestamente de ‘fuerzas’, éstas se pueden considerar como un recurso heurístico únicamente; lo que ayuda a *disolver* las dificultades arriba expuestas; pero, asimismo, las relacionadas con cómo dar cuenta del movimiento a partir de una materia cuya propiedad esencial es la extensión.²⁶

Ahora bien, la interpretación de Garber resulta ser ingeniosa, sin embargo, con ella hace de alguna manera lo que Osiander (1498-1552) le hizo a Copérnico.²⁷ En particular, suscribo la tesis de que no se puede tener una idea clara, del estatus ontológico de la ‘fuerza’ en Descartes, a partir de sus escritos en conjunto; sin embargo, es un hecho que, como afirma Gabbey, ésta es un rasgo distintivo de su mundo mecánico. La *fuerza cartesiana* quizá sea inasible debido a la dificultad, que tuvo el filósofo francés, para sustraerse de la herencia, de una tradición en la que –como dice L. Benítez- existía una “lucha entre la necesidad y la contingencia del universo, la que se manifiesta en las disputas medievales y que Descartes retomará en su caracterización del

²⁵ Ver Garber, *op. cit.*, p.364.

²⁶ Anthony Kenny tiene un estudio donde hace ver lo difícil que es explicar el movimiento cartesiano a partir de las propiedades geométricas solamente. (Ver Descartes: *A Study of his Philosophy*, Random House, Nueva York, pp.200-215.)

²⁷ Andreas Osiander fue un teólogo luterano, quien en 1543 publicó el *De Revolutionibus Orbitum Coelestium* de Copérnico. Lo interesante de este personaje es que añadió un prefacio no firmado explicando que, el modelo descrito en el libro no debía ser entendido como una descripción del Universo como éste realmente era sino como una herramienta matemática para clarificar y simplificar los cálculos, que tienen que ver con el movimiento de los planetas. (Ver P. Rossi, *El renacimiento de la ciencia moderna en Europa*, *op. cit.*, p.92.)

mundo”;²⁸ no porque ésta ‘no esté en ninguna parte’ dentro de su filosofía natural, como propone Garber. Así, se puede decir con Gabbey que la ‘fuerza’ es algo que realmente existe en el universo cartesiano.²⁹

²⁸ Laura Benítez, “Determinismo y libertad en la filosofía natural de Descartes”, escrito inédito.

²⁹Ver A. Gabbey, “Force and Inertia in the Seventeenth-Century Dynamics”, *op. cit.*, p.9.

CAPÍTULO 6. LA MECÁNICA NEWTONIANA Y LOS ‘PRINCIPIOS ACTIVOS’ EN LA MATERIA

...chez M. Newton, [tout se fait] par une attraction dont on ne connaît pas mieux la cause [que ce des cartésiens].¹

Voltaire

En este capítulo haré la exposición acerca del estatus ontológico que las fuerzas tenían para Newton. De esta manera, se verá cuáles son las que según él son inherentes a la materia y cuáles sólo están asociadas a ella. Asimismo, mostraré cómo nunca deja claro si son de naturaleza espiritual o mecánica; al respecto de este tema presento los comentarios de Euler. Por otra parte, reviso la afamada polémica entre Clarke, portavoz de las ideas newtonianas, y Leibniz, el franco detractor de dichas ideas.

6.1 La ‘fuerza’ newtoniana

La idea de fuerza de Newton será muy distinta a la de Descartes. En primer lugar, para Newton ésta tendrá un único sentido: lo que cambia la cantidad de movimiento, i.e aquello que modifica la velocidad y/o dirección de un cuerpo (si la masa es constante). En segundo lugar, cuando hace referencia a la ‘cantidad de movimiento’ en el Universo, tanto en los *Principia*² como en las ‘Cuestiones’

¹ *Lettres Philosophiques, op. cit.*, p.90.

² Newton llegó a ver tres ediciones de sus *Principia*: 1687, 1713 y 1726, las cuales son las versiones latinas. La primera edición inglesa data de 1729, i.e. dos años después de que muriera.

de la *Óptica*,³ dice en esencia, que ésta es una cantidad que no se conserva. En los *Principia* afirma que “los movimientos de los planetas en los cielos pueden subsistir durante un tiempo desmesurado” (título de la proposición X, teorema X):

En consecuencia, estando las regiones celestes perfectamente libres de aire y exhalaciones, los planetas y cometas, al no encontrar resistencia sensible en dichos espacios, *continuarán su movimiento a través de ellos por un periodo inmenso de tiempo* (final de la proposición X, teorema X).⁴

Lo que implica que la cantidad de movimiento del Universo eventualmente cambiará.

En la *Óptica*, en la ‘Cuestión’ 31, el asunto de la ‘no-conservación’ lo hace más explícito, pues dice que “debido a las varias composiciones de dos movimientos es muy seguro que no haya siempre la misma cantidad de movimiento en el mundo”.⁵ De hecho, en la misma ‘Cuestión’ 31 habla de que el sistema (solar) necesitará eventualmente una reforma debido a ciertas irregularidades que pueden haber surgido por las acciones mutuas entre los

³ La *Óptica* fue publicada siete veces en vida de Newton. Tres en inglés: 1704, 1717-18 y 1721; dos en latín: 1706 y 1709; dos en francés: 1720 y 1722. La primera versión en inglés (1704) contenía una serie de *cuestiones* numeradas hasta la 16. En 1706 aparece la primera versión latina, con 7 *cuestiones* más, las cuales posteriormente se convertirían en las cuestiones 25-31 de las versiones inglesas posteriores. En la segunda edición inglesa (1717-18) aparecieron las *cuestiones* 17-24, en las que Newton discutía la existencia de un éter universal. Hoy leemos las *cuestiones* tal como fueron publicadas en la tercera edición inglesa (1721). (Ver R. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, p.890. Ver asimismo B. Cohen en su Prefacio a la Edición de 1979 de *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, Dover Publications, p.xxxi.)

⁴ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, *op. cit.*, pp.484 y 486. (Las cursivas son mías.)

⁵ Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, *op. cit.*, p.397.

planetas y cometas, y que habrán de incrementarse aún más.⁶ Esto último es lo que le valió una de las famosas confrontaciones con Leibniz (en la correspondencia Clarke-Leibniz).⁷ En este caso particular, lo que Leibniz sostenía es que el ‘relojero del mundo’, i.e. Dios, sería entonces un ‘mal artífice’, que habría de darle cuerda constantemente a Su reloj:

M. Newton y sus seguidores tienen una opinión muy graciosa acerca de la obra de Dios. Según ellos, Dios tiene necesidad de poner a punto de vez en cuando su reloj. De otro modo dejaría de moverse. No ha tenido suficiente imaginación para crear un movimiento perpetuo. Esta máquina de Dios es también tan imperfecta que está obligado a ponerla en orden de vez en cuando por medio de una ayuda extraordinaria, e, incluso, a repararla, como haría un relojero con su obra. Sería así mal artífice en la medida en que estuviera obligado a retocarla y corregirla.⁸

⁶ Ver *Opticks, op. cit.*, p.402. Debido a la atracción gravitacional entre los planetas, sus órbitas cambian ligeramente. Aunque esta perturbación sea pequeña, acumulada a lo largo de cientos o miles de años, puede alterar la estabilidad del Sistema Solar. Esto es algo que sólo en el siglo XX se pudo comprobar con supercomputadoras. Laplace (1749-1827) creyó haber demostrado la estabilidad del Sistema, pero sus cálculos son válidos para tiempos relativamente cortos.

⁷ Entre 1715 y 1716 se dio una violenta controversia entre Leibniz y los newtonianos que versaba, en líneas generales, sobre la relación entre la teología y filosofía naturales. Esta controversia culminó con la publicación de la ‘Correspondencia’ entre el Doctor en Teología, Samuel Clarke (1695-1729), quien fungiera como el portavoz de Newton, y el mismo Leibniz. La correspondencia en ‘Cuestión’ consta de diez cartas, cinco de Leibniz con sus respectivas respuestas de Clarke.

⁸ Pasaje del “Extracto de una carta escrita a la Princesa de Gales en el mes de noviembre de 1715” en *La polémica Clarke-Leibniz*. Edición de Eloy Rada, Taurus, Madrid, 1980, pp.51-52.

La Princesa de Gales era Carolina de Ansbach, esposa del Príncipe de Gales y Elector de Hannover, quien reinó en Gran Bretaña con el nombre de Jorge II de 1727 a 1760 al suceder a su padre Jorge I, quien a su vez ascendió al trono inglés en virtud de la llamada “Acta de Establecimiento” de 1701, por la que la línea sucesoria pasaba de los Estuardo a sus primos de Hannover. Carolina era Princesa de Gales desde 1714, fecha en la que la Reina Ana Estuardo muere sin descendencia y sube al trono Jorge I.

Ahora bien, lo que le objeta a Newton no es el asunto de la 'cantidad de movimiento en el mundo', pues para él tampoco se conserva de manera total.⁹ Su conflicto con Newton es lo que él mismo llama la 'cantidad de *fuera*'.¹⁰

Si la *fuera activa* se perdiera en el universo por las leyes naturales que Dios ha establecido en él, de forma que tuviera necesidad de una nueva impresión para resistir esta fuerza, como un artesano que corrige la imperfección de su máquina, el desorden no hubiera tenido sólo lugar respecto a nosotros, sino también respecto al mismo Dios. Él podía prevenirlo y tomar mejor sus medidas para evitar un inconveniente semejante, como efectivamente lo ha hecho.¹¹

Pero es claro que para Newton la *fuera* no es algo que se pueda conservar, porque para él no hay algo así como la fuerza total *impresa* en el universo, como se podría entender en un sentido la *fuera cartesiana*. Tampoco es la *fuera leibniziana*, i.e. lo que posteriormente se concebirá como energía, la cual sí se conserva. Por el contrario, la característica de la *fuera newtoniana* es hacer que la cantidad de movimiento varíe, o dicho un tanto a la manera de la Definición IV de los *Principia*: 'una acción que ejercida sobre un cuerpo cambia su estado'.

Newton concibe una variante de la *fuera* que es la *vis inertiae* o *vis insita*, la cual es 'un poder de resistencia por la que todos los cuerpos, en tanto que de ellos depende, perseveran en su estado'; pero es una fuerza que actúa 'cuando otra fuerza *impresa* trata de alterar su estado':

⁹ Ver Leibniz, *Discurso de Metafísica*, párrafo 17. Ver asimismo *La polémica Clarke-Leibniz*, op. cit., p.128.

¹⁰ En la primera parte de este trabajo se vio reiteradamente que el conflicto de Leibniz con Descartes y sus seguidores era acerca de *cuál* 'fuerza' se conservaba. Con Newton su conflicto será el de la *conservación* en sí de la 'fuerza'.

¹¹ Pasaje de la tercera carta de Leibniz en *La polémica Clarke-Leibniz*, op. cit., p.70.

[La *vis insita*] es resistencia en tanto el cuerpo se opone a la fuerza *impresa* para mantener su estado actual. Es ímpetu en tanto en cuanto el cuerpo, sin ceder fácilmente a la fuerza *impresa* de otro, se esfuerza por cambiar el estado de ese otro.¹²

Lo que significa en última instancia que, para Newton, la fuerza es aquello que modifica la cantidad de movimiento.

Ahora vayamos a la 'Cuestión' del estatus ontológico de las *fuerzas newtonianas*. Para la presentación de este tema comienzo con una panorámica general de la relación entre la filosofía natural y la teología en esa época. Posteriormente haré una exposición acerca de si las fuerzas son inherentes o asociadas a la materia para Newton. Por último, presento lo referente a si éstas son de naturaleza material o espiritual.

6.1.1 La relación de la filosofía natural y la teología en la época de Newton

Hacia el final del siglo XVII y principios del XVIII, prevalecía en las Islas Británicas la concepción de que la filosofía natural debía ser compatible con lo establecido por la teología natural (la teología cuyo soporte es la razón). Así, Newton y los newtonianos creían que la vía filosófica debía reforzar los argumentos de la teología natural. Un acontecimiento que deja claro que esto era lo que se buscaba es un pasaje de la conocida carta de Newton a Bentley (1662-1742):

Cuando escribí mi tratado acerca de nuestro Sistema tenía en mira que dichos Principios ayudarían a que los hombres consideraran la creencia en

¹² Newton, *Principios matemáticos de la filosofía*, Definición III, *op. cit.*, p.28. (Las cursivas son mías.)

una Deidad, y nada me puede alegrar más que encontrar que fueran útiles para ese propósito. Pero si de esta manera he hecho algún servicio al público, no se debe más que a trabajo y pensamiento detenido.¹³

Pero además Newton creía que, como parte de Su plan providencial, Dios intervenía en el mundo. Por ejemplo, en el Escolio General a la segunda edición de los *Principia*, escribe lo siguiente:

Se reconoce que un dios supremo existe necesariamente, y por la misma necesidad existe siempre y en todas partes (...) *Un dios sin dominio, providencia y causas finales nada es sino hado y naturaleza. Una ciega necesidad metafísica, idéntica siempre y en todas partes, es incapaz de producir la variedad de cosas.* Toda esa variedad de cosas que hallamos adecuada a tiempos y lugares diferentes, sólo puede surgir de las ideas y de la voluntad de un ente que existe por necesidad.¹⁴

Como es de suponer, este tema también tuvo respuesta por parte de Leibniz, quien consideraba que, si bien la filosofía natural debía ser acorde a las doctrinas teológicas, ello no implicaba una interpenetración entre ambos dominios.

¹³ "When I wrote my Treatise about our System I had an Eye upon such Principles as might work for considering Men, for the Belief of a Deity & nothing can rejoice me more than to find it useful for the Purpose. But if I have done the Public any Service this way, is due to nothing but Industry and Patient Thought". (Newton a Bentley, 10 de diciembre de 1692. en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*. Edición de B. Cohen, Harvard University Press, Massachusetts, 1958, pp.280-281. Ver asimismo, *The Correspondence of Sir Isaac Newton*. Edición de H. W. Turnbull, J. F. Scott, A. R. Hall y I. Tilling, Cambridge University Press, Cambridge, 1959-1977, 3:233.)

El tratado al que se refiere Newton en la carta es los *Principia*. Ésta y las demás cartas de Newton a Bentley serían publicadas por los ejecutores testamentarios de este último hasta 1756, esto es, cuando ya ambos habían muerto. Desgraciadamente de la correspondencia de cuatro cartas, no se han encontrado, a excepción de una, las que Bentley le escribiera a Newton. (Ver J. A. Robles, "Cuatro cartas de Sir Isaac Newton al Doctor Bentley que contienen algunos argumentos a favor de la existencia de una deidad (1692-1693)" en *Diánoia*, vol. 44, UNAM, México, 1998, pp.113 y 116.)

¹⁴ *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.620. (Las cursivas son mías.)

*Yo no digo en absoluto que el mundo corporal sea una máquina o reloj que funciona sin la intervención de Dios, sino que opino que las criaturas tienen necesidad de su continua influencia, pero sostengo que es un reloj que funciona sin tener necesidad de corrección (...) Esta opinión no excluye la providencia o gobierno de Dios; por el contrario, los hace perfectos. Una verdadera providencia de Dios reclama previsión: pero por lo demás exige no sólo que haya previsto todo, sino también que haya proveído todo por medio de convenientes remedios pre-ordenados.*¹⁵

De esta manera, lo que Leibniz quería dejar establecido es que no había que apelar a Dios para dar cuenta de los eventos de la naturaleza. Apelar a Él como causa inmediata, era incluso tener un concepto erróneo de Su acción en el mundo.

En fin, si Dios está obligado a corregir las cosas naturales de vez en cuando, es necesario que eso se haga sobrenaturalmente o naturalmente; si ello se hace sobrenaturalmente, hay que recurrir al *milagro* para explicar las cosas naturales, lo que es en realidad la reducción de una hipótesis al absurdo, ya que con los milagros podemos dar razón de todo sin trabajo. Y si eso se hiciera naturalmente, Dios no sería una inteligencia supramundana, estaría comprometido bajo la naturaleza de las cosas, es decir, sería el alma del mundo.¹⁶

Lo que para Leibniz significaba añadir otros problemas al del 'mal artífice', entre ellos, el de la función de los *milagros*:

Yo sostengo que cuando Dios hace *milagros*, no los hace por mantener las necesidades de la naturaleza, sino las de la gracia. Juzgar esto de otra

¹⁵ Pasaje de la segunda carta de Leibniz en *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, pp.59-60. (Las cursivas son mías.)

¹⁶ Último pasaje de la segunda carta de Leibniz en *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, p.61. (Las cursivas son mías.)

manera sería tener una idea muy baja de la sabiduría y del poder de Dios.¹⁷

El hecho de que Newton considerara que, como parte de Su plan providencial Dios puede actuar de manera directa en el Universo, conduce a que sus 'leyes' sean de un tipo muy singular y excepcional, en el sentido de que a la par de ellas, la Divinidad opere milagros. Más aún, a partir de este prototipo, bien se puede suponer que, en última instancia, no haya necesidad de dichas leyes, si en cualquier caso Dios ha de intervenir en el curso de la naturaleza.

Leibniz siempre se cuidó de que su filosofía natural no se interpretara de esta manera, pues si bien escribió, muchos años antes de su contienda con los newtonianos, en el *Discurso de Metafísica* (1686) que: "los *milagros* están de acuerdo con el orden general",¹⁸ lo que ahí establecía es que:

*Puesto que no se puede hacer nada que no esté dentro del orden, puede decirse que los milagros están dentro del orden como las operaciones naturales, que se llaman así porque están conformes con ciertas máximas subalternas que llamamos la naturaleza de las cosas. Puede decirse que esta naturaleza no es más que una costumbre de Dios, de la que puede dispensarse a causa de una razón más fuerte que la que lo movió a servirse de esas máximas.*¹⁹

¹⁷ Último pasaje del "Extracto de una carta escrita..." en *La polémica Clarke-Leibniz*, *op. cit.*, p.52. (Las cursivas son mías.)

¹⁸ Leibniz, *Discurso de metafísica*, título del parágrafo 7. Edición de Julián Marías, Alianza, Madrid, 1986, p.63.

¹⁹ *Ibid*, pp.63-64. (Las cursivas son mías.)

Esto es, pueden suceder eventos fuera de lo ordinario, los cuales no contradicen el orden de la naturaleza sino que son realizados por razones superiores.

Las voluntades o acciones de Dios se dividen usualmente en ordinarias y extraordinarias. Pero conviene considerar que Dios no hace nada fuera de ese orden. Así, *lo que pasa por extraordinario sólo lo es respecto a algún orden particular establecido entre las criaturas. Pues en cuanto al orden universal, todo es conforme a él.* Lo cual es tan cierto, que no sólo nada ocurre en el mundo que sea absolutamente irregular, sino que ni siquiera sería posible fingir nada semejante. Pues supongamos, por ejemplo, que alguien marque multitud de puntos en el papel al azar, como hacen los que practican el ridículo arte de la geomancia; yo digo que es posible encontrar una línea geométrica cuya noción sea constante y uniforme según una cierta regla, de suerte que esta línea pase por todos los puntos y en el mismo orden en que la mano los había señalado.²⁰

Así, los *milagros* no operan para las cuestiones de la naturaleza sino únicamente para las de la gracia, y esto mismo es lo que mantiene treinta años después –en la controversia con Clarke (y Newton). En todo caso, es importante mencionar que la idea de Leibniz acerca de los milagros no sólo no convenció a los newtonianos, sino que además pusieron de manifiesto que a lo largo de su correspondencia se contradecía respecto a la naturaleza de éstos.²¹

También Descartes había negado la posibilidad de que sucedieran milagros en el mundo material con lo que, desvinculaba claramente la acción

²⁰ Leibniz, *Discurso de metafísica*, *op. cit.*, p.62-63. (Las cursivas son mías.)

²¹ Ver Clarke en su respuesta a la quinta carta en *La polémica Clarke-Leibniz*, *op. cit.*, p.161. Clarke en este caso hace referencia a un pasaje de la tercera carta de Leibniz (ver *op. cit.*, p.71.)

de Dios de las leyes de la naturaleza. En *El Mundo*, hacia el final del capítulo 7, dice:

Me contentaré con advertiros que, además de las tres leyes que he explicado, no quiero suponer ninguna otra al margen de las que se siguen infaliblemente de esas verdades eternas sobre las que los matemáticos acostumbran apoyar sus más ciertas y evidentes demostraciones (...) Y, *para que no exista ninguna excepción que se oponga a tales reglas, añadiremos a nuestras suposiciones, si os place, que Dios no hará nunca ningún milagro, y que las inteligencias o almas racionales (...) tampoco perturbarán en absoluto el curso ordinario de la naturaleza.*²²

Entonces, ¿por qué les interesaba a los británicos tender un puente entre la filosofía natural y la teología, cuando en el Continente se intentaba lo contrario? Cuando, en ocasiones, contrastaba la ambigüedad de los textos de las Escrituras con la claridad interpretativa del *Libro de la Naturaleza*, como era el caso de la referencia al estatismo de la Tierra y el movimiento del Sol en la Biblia. La respuesta es quizá más compleja de los que se podría esperar. No tiene que ver, en el caso particular de los newtonianos, con cuestiones pragmáticas, como acallar a los incrédulos con argumentos como el de que las referencias bíblicas al estatismo de la Tierra y el movimiento del Sol, no habían de tomarse como verdades literales, sino como recursos metafóricos que servían para adaptar los artículos de fe a las capacidades del vulgo. La ‘Cuestión’ aquí era poder mostrar que sólo la filosofía natural podía proporcionar los recursos para respaldar y difundir las creencias cristianas. La razón de esto era tener un control social con una vertiente teológica que ayudara a erradicar las ‘herejías’.

²² Descartes, *El Mundo*, *op. cit.*, pp.129 y 131. (Las cursivas son mías.)

En el aspecto social lo que se pretendía era cuidar que ninguna nueva tendencia cultural considerada como una amenaza a la religión establecida, pudiera abrigar la esperanza de institucionalizarse.²³ Por ejemplo, Robert Boyle (1627-1691), filósofo natural, dejó destinada en su testamento una suma de dinero para pagar a un teólogo o cura predicador de Londres, que dictara cada año ocho sermones que, ‘probaran la religión cristiana contra infieles bien conocidos: ateos, deístas, paganos, judíos y mahometanos, aunque sin rebajarse a las controversias entre cristianos’.²⁴

La vertiente teológica tiene que ver con el hecho de que los filósofos naturales dedicados a la experimentación pensaban que sólo un conocimiento del mundo natural articulado con una religión, en la que se hiciera patente que la perfección de la naturaleza se debe a la existencia de Dios, era el que podía impedir que el fanatismo se desbordase en creencias sobrenaturales.²⁵ También podría ayudar a apoyar la verdadera fe (el dogma anglicano). Por lo que, dice S. Shapin:

²³ Ver S. Shapin, *La Revolución científica*, Paidós Studio, Barcelona, 2000, p.174.

En la Inglaterra del siglo XVII las penas por negar doctrinas menos centrales que la existencia de Dios podían ser lo suficientemente severas como para hacer que, incluso una persona osada, lo pensara dos veces antes de traspasar las barreras de lo que podía ser publicado o no. En 1648, cuando los presbiterianos controlaban el Parlamento, se pasó una ley en la que era ofensa capital negar la Trinidad o la Encarnación, o la Inspiración de la Biblia o el Juicio Final. Se podía recibir una sentencia indeterminada por sostener que un hombre no ha de creer más allá de lo que puede comprender con su razón. Y aunque para el tiempo en que los ‘independentistas’ tuvieron el control del Parlamento había una concepción más moderada de lo que era la blasfemia, había límites a la tolerancia. (Ver la Introducción al *Leviathan* de Thomas Hobbes en la edición de Edwin Curley, Hackett Publishing, Indiana, 1994, pp.13-14.)

²⁴ Ver J. A. Robles, “Cuatro cartas de Sir Isaac Newton al Doctor Bentley...”, *op. cit.*, pp.115-116.

²⁵ Ver John Henry en “Occult qualities in the experimental philosophy. Active principles in the pre-newtonian matter theory” en *Essays on Early Modern Philosophers from Descartes and Hobbes to Newton and Leibniz*. Edición de Vere Chapel, Garland Publishing, Nueva York y Londres, 1992 pp.1-47.

En la Inglaterra protestante, los que abogaban por un conocimiento de la naturaleza reformado argumentaron que una lectura correcta del *Libro de la Naturaleza* podía respaldar la religión cristiana purificándola. A lo largo de los siglos, supersticiones y fábulas no autenticadas habían sido agregadas ilegítimamente a la religión.²⁶

De ahí que la teología natural de Newton fuera más allá de ser una doctrina teológico-filosófico-científica hasta el grado de tomar matices políticos. Whiston (1667-1750), teólogo, escribe que “la religión natural de Newton sirvió de pedestal a la ideología social desarrollada por la Iglesia después de la Revolución [Gloriosa]”.²⁷

En todo caso, cabe destacar que la visión teológica que Newton impuso era poco ortodoxa y, entre otros, quien se encargó de mostrarlo fue nada menos que Leibniz.²⁸ Por una parte, Newton era latitudinario, esto es, compartía la actitud adoptada por algunos teólogos anglicanos, quienes defendían que podía darse la salvación fuera de la Iglesia. Por otra parte, parece ser que tenía filiación con la secta protestante de los socinianos;²⁹ al menos eso es lo que Leibniz se encargó de difundir con el fin de

²⁶ S. Shapin en *La Revolución Científica, op. cit.*, p.174. (Las cursivas son mías.)

²⁷ Ver Eloy Rada en *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, p.31.

²⁸ Irónicamente Leibniz era diplomático y pertenecía al movimiento ecuménico, el cual intenta la restauración de la unidad entre todas las Iglesias cristianas. Al igual que su padre y el resto de su familia, era luterano, pero no era un hombre especialmente fervoroso ni amante de los oficios eclesiales. Su religiosidad consistió más bien en su constante actividad en pro de la reunificación de las Iglesias. En la época en que vivió, el Imperio prusiano, a diferencia de España, Francia, Inglaterra u Holanda, no había logrado la unificación como Estado, y ello en gran parte por motivos religiosos. (Ver J. Echeverría en *Leibniz*, Barcanova, Barcelona, 1981, pp.14-15.)

²⁹ La secta de los socinianos deriva su nombre de la familia italiana Sozzini del siglo XVI. Floreció originalmente en Polonia, pero al ser expulsados por los jesuitas en 1638 se mudaron hacia Holanda e Inglaterra, donde encontraron refugio y adeptos.

desacreditarlo.³⁰ Sea o no que Newton perteneciera a esta secta, el caso es que comparte varias de sus tesis más distintivas.³¹

Los socinianos no eran adversos a la Revelación *per se*; al contrario, compartían la creencia común protestante en la supremacía de las Escrituras como regla de fe. Sin embargo, llevaron hasta el extremo el deseo protestante de restaurar el cristianismo y regresarlo a su forma original, purgándolo de las tendencias helenizantes, las cuales, creían ellos, habían pervertido la simplicidad del mensaje del Evangelio. Así, la mayor parte de ellos rechazaba las doctrinas de la Trinidad³² y la Encarnación por considerar que no estaban basadas en las Escrituras, aunque también había quienes rechazaban la Inmortalidad por considerar que, asimismo, no tenía ningún fundamento en la Revelación.³³ Dentro de esta última tendencia parece ser que se ubicaba Newton.³⁴

Leibniz también acusó a Newton de panteísta, y no sin razón.³⁵

³⁰ Ver *La polémica Clarke-Leibniz*, *op. cit.*, p.60. Leibniz ya había criticado a los socinianos en la *Teodicea* (1710), y en esta correspondencia aparecen repetidas veces como “análogos” a los newtonianos.

³¹ Para estas afirmaciones ver S. D. Snobelen, “God of Gods and Lord of Lords: The Theology of Isaac Newton’s General Scholium to the *Principia*” (www.newtonproject.ic.ac.uk –junio 2004.)

³² Acerca del tema del ‘antitrinitarismo’ en Newton véase, asimismo, R. S. Westfall, *Isaac Newton: una vida*, *op. cit.*, pp.127-133.)

³³ La creencia en la inmortalidad del alma la enseñaron los griegos. (Ver W. Jaeger en *La teología de los primeros filósofos griegos*, F.C.E., México, 1998, pp.77-92.) Ya en Homero (S. VIII a. C.) se puede vislumbrar en la *Iliada* una explicación incipiente de lo que será, diez siglos después, para Pablo de Tarso (5 ó 10- 67 A. D.), la explicación de la muerte, en sus epístolas a las distintas colonias griegas. Pero la creencia en la inmortalidad del alma heredada por los cristianos proviene directamente de Platón (428-348 a. C.).

³⁴ Para esta afirmación ver S. D. Snobelen, *To Discourse of God: Isaac Newton’s Heterodox Theology and his Natural Philosophy* (www.newtonproject.ic.ac.uk –junio 2004.)

³⁵ Ver *La polémica Clarke-Leibniz*, *op. cit.*, pp.58 y 131. Para una exposición detallada del panteísmo de Newton, ver J. A. Robles, “Las tesis panteístas de Isaac Newton” en *Dianoia*, vol. 46, UNAM, México, 2001, 3-40.

6.1.2 ¿Fuerzas inherentes o asociadas a la materia para Newton?

Relacionado con el tema de la teología, aunque de manera lateral, está lo referente a la ‘Cuestión’ de si la materia podía albergar dentro de sí algún principio causal o si ésta era eminentemente ‘inerte’.

Como el caso del nexo entre la filosofía natural y la teología, también había sus polémicas, aunque en este caso no expresadas abiertamente, las más de las veces. La razón de ello es que atreverse a manifestar que la materia pudiese contener una fuerza interna que le permitiese actuar *per se* era casi declarar ser ateo, pues era como atribuirle facultades inexplicables dentro de la ortodoxia. Por ejemplo, la teoría de la gravitación de Newton había ganado aceptación inmediata en Inglaterra, donde era expuesta y defendida por un buen número de sus discípulos y admiradores, pero en el Continente la situación era muy diferente. Ahí los cartesianos veían la noción de ‘atracción’ como una ‘cualidad oculta’, una regresión a las influencias inmateriales y las ‘simpatías’ que habían sido erradicadas de la física de manera reciente y con mucha dificultad.³⁶ Así, el escritor francés Saurin (1665-1750) escribía en 1709 para la *Histoire de l’Académie Royale des Sciences*:

*[A Newton] le gusta pensar que el peso es una cualidad inherente a los cuerpos, así como revivir las ideas desacreditadas de cualidades ocultas y atracción (...) no abandonemos filosofar siempre sobre la base de los principios claros de la mecánica; si los abandonamos, toda la luz que podemos obtener se extingue, y nos sumimos nuevamente en la vieja oscuridad del peripatetismo, de donde el cielo nos resguarde.*³⁷

³⁶ Ver M. Hesse en *Forces and Fields. The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*, Dover Publications, Nueva York, 2005, p.157.

³⁷ Citado en M. Hesse, *op. cit.*, p.157. (Las cursivas son mías.)

Newton mismo ya había intentado defenderse de este tipo de acusaciones³⁸, por ejemplo, en una de las cartas que le escribió a Bentley:

*Que la gravedad deba ser innata, inherente y esencial a la materia, para que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia, a través de un vacío, sin ninguna mediación de nada más, con la y por la cual su acción y fuerza puedan ser transmitidas de un cuerpo a otro, es para mí un gran absurdo, que creo que ningún hombre que esté versado en cuestiones filosóficas, aceptaría.*³⁹

Sin embargo, dejaba abiertos otros problemas, como la (posible) existencia del vacío, que es algo que Leibniz le discute en la polémica con Clarke.⁴⁰ Asimismo, dejaba abierta la ‘Cuestión’ acerca de si el agente de la gravedad era material o inmaterial.

Antes de pasar al tema sobre la naturaleza de la gravedad es importante resaltar, que Newton establece en los *Principia* mismos que la *vis inertiae* es una fuerza ínsita en la materia, i.e. algo que reside en ella y además es propio de ella; pero ello no suscitó el menor conflicto. Lo que conduce a pensar que el inconveniente, tanto para Newton como para quienes le criticaron, es que la

³⁸ Clarke defendería lo mismo en la polémica con Leibniz.

³⁹ “That Gravity should be innate, inherent and essential to Matter, so that one Body may act upon another at a Distance thro’ a Vacuum, without the Mediation of any thing else, by and through which their Action and Force may be conveyed from one to another, is to me so great an Absurdity, that I believe no Man who has in philosophical Matters a competent Faculty of thinking, can ever fall into it”. (Newton a Bentley, 25 de febrero de 1692 en *Isaac Newton’s Papers and Letters on Natural Philosophy, op. cit.*, pp.302-303.) (Las cursivas son mías.)

⁴⁰ Ver la posdata en la cuarta carta de Leibniz de *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, pp.84-85. Esta posdata pertenece en realidad a una carta a la Princesa de Gales con fecha 12 de mayo de 1716. Leibniz la escribe como respuesta a la referencia que ella hacía a ciertos experimentos sobre el vacío.

gravedad fuera la que tuviera dichas características.⁴¹ Por ejemplo, en otra carta a Bentley, anterior a la última presentada, Newton escribe:

*Usted habla algunas veces de la gravedad como esencial e inherente a los cuerpos. Le pido que no me adjudique dicha noción a mí, ya que la causa de la gravedad es lo que no pretendo conocer.*⁴²

En todo caso, M. Hesse dice que es fácil interpretar la gravedad (newtoniana) como una cualidad innata de los cuerpos al igual que la extensión o la masa. Además, el lenguaje acerca de un cuerpo que ejerce una fuerza de atracción se presta a equivocación, ya que evoca la idea de un poder invisible que fluye y controla los cuerpos distantes.⁴³ Así, aun cuando Newton se cuidara de no ser entendido de manera incorrecta, no resultaba tan sencillo que sus amigos y seguidores lo hicieran. Tanto que la interpretación que le recrimina a

⁴¹ R. S. Westfall en *Isaac Newton: una vida*, muestra que el paso inmediatamente anterior a la conformación de los *Principia*, y en particular de la *vis inertiae*, es un pequeño tratado de nueve páginas con el título *De Motu corporum in gyrum* (hacia 1684-85). En él Newton afirma que la ‘fuerza de los cuerpos’ es ‘inherente’ a ellos. Incluso, en la tercera versión, que ha sobrevivido de este escrito, dice que, además, es ‘innata’ (como aparecerá en las versiones inglesas de los *Principia*) y ‘esencial’. (Ver *op. cit.*, pp.164-168.)

Se puede argumentar que como las versiones conservadas del *De Motu* son sólo los manuscritos de Newton (y alguna copia con la caligrafía de Halley), que no fueron publicados; no había forma de que la concepción de ‘fuerza de los cuerpos’, como una fuerza inherente y hasta esencial, suscitara algún problema. Sin embargo, las nociones de ‘fuerza inherente’ y de *fuerza ínsita* (en los *Principia*), no distan mucho entre sí, al menos, en lo lingüístico.

Debido a que el idioma en que Newton escribió tanto el *De Motu* como los *Principia* es el latín, quizá sea interesante ver algunas de las acepciones que en Español tenemos de los términos en ‘Cuestión’. En el *Diccionario de la Lengua Española* de la Real Academia Española, vigésima segunda edición, tenemos que, <ínsito> tiene como sinónimos: *insertar, injertar, implantar, introducir* y significa ‘propio o connatural a algo, como nacido en ello’; <inherente> tiene como sinónimo *inseparable* y significa ‘que por naturaleza está unido a algo de tal modo que no se puede separar de ello’.

⁴² “You sometimes speak of Gravity as essential and inherent to Matter. Pray do not ascribe that Notion to me; for the Cause of Gravity is what I do not pretend to know”. (Newton a Bentley, 17 de enero de 1692 en *Isaac Newton’s Papers and Letters On Natural Philosophy, op. cit.*, p.298.) (Las cursivas son mías.)

⁴³ Ver M. Hesse, *Forces and Fields, op. cit.*, p.150.

Bentley es la misma que aparece, aproximadamente diez años después, en el Prefacio a la segunda edición de los *Principia* (1713) a cargo del matemático Roger Cotes (1682-1716). Ahí Cotes, afirma que la gravedad es una cualidad primaria como la extensión o la impenetrabilidad.⁴⁴

Puesto que todos los cuerpos, terrestres o celestes, son pesados como demuestra cualquier experimento u observación sobre ellos, debemos ciertamente admitir que la gravedad se encuentra en todos los cuerpos universalmente. Y de modo semejante no deberíamos suponer cuerpos que no sean extensos, móviles e impenetrables, esto es: graves. La extensión, la movilidad y la impenetrabilidad de los cuerpos sólo se nos hacen conocidas mediante experimentos, y de idéntico modo se nos hace conocida la gravedad (...) *En resumen, o bien la gravedad ha de tener un lugar entre las cualidades primarias de todos los cuerpos, o bien la extensión, la movilidad y la impenetrabilidad no deben tenerlo. Y si la naturaleza de las cosas no se explica correctamente mediante la gravedad de los cuerpos, tampoco será explicada correctamente por su extensión, movilidad e impenetrabilidad.*⁴⁵

Cotes trata a continuación otro de los temas difíciles para los newtonianos, pero que en este caso está en conformidad con lo dicho por Newton, y es que la gravedad no es una 'cualidad oculta'.

Sé que algunos desaprueban esta conclusión, murmurando algo sobre cualidades ocultas. Nos reprochan continuamente que la gravedad es una cualidad oculta, y que las causas ocultas deben abolirse de la filosofía. Pero es fácil responder a eso, pues son causas ocultas aquellas cuya existencia es oculta o imaginada, jamás probada, no aquellas cuya

⁴⁴ La propiedad esencial de la materia para Descartes es la extensión, para Euler será la impenetrabilidad. (Para las afirmaciones sobre Euler ver *Recherches sur l'origine des forces* (<http://math.dartmouth.edu>). Asimismo ver *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, op. cit., pp.104-114.)

⁴⁵ *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.17. (Las cursivas son mías.)

existencia real es demostrada claramente por observaciones. En consecuencia, la gravedad no puede en modo alguno considerarse una causa oculta de los movimientos celestes, porque es obvio partiendo de los fenómenos que un poder semejante tiene existencia real. *Quienes recurren a causas ocultas son los que explican esos movimientos mediante remolinos de una materia ficticia e imperceptible para nuestros sentidos.*⁴⁶

Newton expondrá esto mismo, en su tercera edición en inglés de la *Óptica* (1721) de la siguiente manera:⁴⁷

Estos principios [la gravedad, fermentación y cohesión de los cuerpos] no los considero cualidades ocultas, que resultan supuestamente de las formas específicas de las cosas, sino como leyes generales de la naturaleza (...); su verdad aparece ante nosotros a través de los fenómenos, aunque sus causas todavía no se hayan descubierto. Pues estos [principios] son cualidades manifiestas y sólo sus causas son ocultas. Y los *aristotélicos* dieron el nombre de cualidades ocultas no a las cualidades manifiestas sino al tipo de cualidades que ellos suponían se encontraban escondidas en los cuerpos y que eran las causas desconocidas de efectos manifiestos: tal como serían las causas de la gravedad, de las atracciones eléctricas y magnéticas, y de las fermentaciones.⁴⁸

⁴⁶ *Ibid*, pp.19-20. (Las cursivas son mías.)

⁴⁷ Newton expone una idea similar en 1716 en una carta al Abad Conti (ca.1700-1745). (Citada en J. Henry, "Newton, Matter and Magic" en *Let Newton Be!* Edición de J. Fluvel, R. Flood, M. Shorland y R. Wilson, Oxford University Press, Inglaterra, 1989, p.136.)

⁴⁸ "These Principles [Gravity, Fermentation and the Cohesion of Bodies] I consider, not as occult Qualities, supposed to result from the specifick Forms of Things, but as general Laws of Nature (...); their Truth appearing to us by Phaenomena, though their Causes be not yet discover'd. For these are manifest Qualities, and their Causes only are occult. And the *Aristotelians* gave the Name of occult Qualities, not to manifest Qualities, but to such Qualities only as they supposed to lie hid in Bodies, and to be the unknown Causes of manifest Effects: Such as would be the Cause of Gravity, and of magnetick and electric Attractions, and of Fermentations". (Newton, *Opticks*, pasaje de la 'Cuestión' 31, *op. cit.*, pp.401-402.) (Las cursivas son del editor.)

La realidad es que la defensa que hace para que su explicación de la gravedad no sea entendida como una ‘cualidad oculta’, en esta segunda edición de la *Óptica*, es consecuencia de la polémica Clarke-Leibniz,⁴⁹ pues como era de esperarse, Leibniz también había opinado al respecto. En la quinta y última carta de la correspondencia, Leibniz escribía:

*Yo había objetado que una atracción propiamente dicha o de tipo escolástico sería una acción a distancia, sin medio. Se responde aquí que una atracción sin medio sería una contradicción; muy bien, pero ¿cómo entenderlo cuando se pretende que el sol a través de un espacio vacío atrae el orbe terrestre? ¿Es Dios quien sirve de medio? (...) ¿O son quizás ciertas sustancias inmateriales (...) o algún no sé qué, quienes deben actuar como tal supuesto medio? (...) Ese medio de comunicación es –se dice- invisible, intangible, no-mecánico. Con el mismo derecho se podría añadir: inexplicable, ininteligible, precario, sin fundamento, no ejemplificado. Pero –se dice- es regular, constante, y en consecuencia, natural (...) Si ese medio que ejerce una verdadera atracción es constante y al mismo tiempo inexplicable (...) y con todo eso es verdadero, entonces es un perpetuo milagro. Y si no es milagroso entonces es falso. Es algo quimérico, una cualidad oculta escolástica.*⁵⁰

Como se puede apreciar, en esta última carta están contenidas, además del asunto de las ‘cualidades ocultas’, varias de las objeciones y acusaciones –que se ha visto- que repetidamente Leibniz hizo contra el sistema newtoniano, como son la ‘acción a distancia’, la función de los milagros y su panteísmo patente, tanto en el “Escolio” como en las Cuestiones de la *Óptica*.

Un tema al que antes no hice referencia y que aparece en esta última carta de Leibniz, es el de la crítica a entender la *atracción* como una sustancia

⁴⁹ Ver la Introducción que Eloy Rada hace a *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, p.37.

⁵⁰ Pasaje de la quinta carta de Leibniz en *La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, pp.133-134. (Las cursivas son mías.)

inmaterial o un agente no-mecánico. En otro pasaje de esta misma carta señala cómo se debe entender no sólo la gravedad sino las demás fuerzas de la naturaleza:

Las fuerzas naturales de los cuerpos están todas sometidas a leyes mecánicas, y las fuerzas espirituales están todas sometidas a leyes morales.⁵¹

Sobre la base de las dos últimas citas de Leibniz presentadas, enlace con el tema de la naturaleza de las fuerzas para Newton.

6.1.2.1 ¿Fuerzas mecánicas o espirituales para Newton?

En su carta a Bentley del 17 de enero de 1692, donde Newton le escribía acerca del absurdo que era suponer que la gravedad fuese algo 'inherente' y 'esencial' a la materia, y por medio del cual un cuerpo pudiera actuar sobre otro a la distancia, en un vacío y sin mediación de nada, le escribe asimismo que:

La gravedad debe ser causada por un agente que actúa constantemente de acuerdo a ciertas leyes; *pero si ese agente es material o inmaterial*, lo dejo a la consideración de mis lectores.⁵²

Y efectivamente, con esta sentencia como telón de fondo,⁵³ cada uno sacó sus propias conclusiones. Por ejemplo, Euler, quien era un newtoniano

⁵¹ *Ibid*, p.134.

⁵² "Gravity must be caused by an Agent acting constantly according to certain Laws; but whether this Agent be material or immaterial, I have left it to the Consideration of my Readers". (Newton a Bentley, pasaje de la carta del 25 de febrero de 1692 en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, *op. cit.*, p.303.) (Las cursivas son mías.)

⁵³ En la controversia entre Leibniz y Clarke, Clarke responde en la última carta: "Es indudablemente verdadero que este fenómeno [la gravitación, en un espacio que no

respecto a que dentro de las cualidades primarias de los cuerpos están la extensión y la impenetrabilidad,⁵⁴ escribe a la que sería la futura Princesa de Anhalt-Dessau⁵⁵ lo siguiente sobre el asunto de la naturaleza de la gravedad (Carta 79):

*Nada impide que haya dos tipos de fuerzas que causan todos los fenómenos en el mundo. Uno sería el de las fuerzas corpóreas, que tienen su origen en la impenetrabilidad de los cuerpos; otro el de las fuerzas espirituales que las almas de los animales ejercen sobre sus cuerpos. Pero este último tipo se limita a los cuerpos animados, que el Creador ha distinguido tan claramente de los demás cuerpos, que no es lícito confundirlos en filosofía. Sin embargo, la atracción, considerada como una cualidad intrínseca de los cuerpos, se ve seriamente puesta en entredicho, ya que éstos no actúan unos sobre otros sino para mantener su impenetrabilidad, y aquella [la atracción] no puede ser reducida a este caso. Dos cuerpos alejados entre sí pueden conservar cada uno su estado sin que su impenetrabilidad se vea afectada, no habiendo, por consiguiente, ninguna razón para que uno actúe sobre otro atrayéndolo hacia sí. En todo caso, la atracción debería ser referida a un tercer tipo de fuerzas, que no serían ni corporales ni espirituales.*⁵⁶

Esto es, en primer lugar, Euler no acepta que la gravedad pueda ser de naturaleza espiritual. En segundo lugar, atribuye a Newton la defensa de la

tiene nada que se oponga sensiblemente al movimiento de los cuerpos que lo cruzan transversalmente de un extremo a otro] no se produce sin medio alguno, es decir sin causa capaz de producir un efecto semejante. Por este motivo, los filósofos tal vez busquen y descubran, si pueden, esta causa, sea mecánica o no". (*La polémica Clarke-Leibniz, op. cit.*, p.161.)

⁵⁴ Ver *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia, op. cit.*, p.140.

⁵⁵ Friederike Charlotte Ludovica Luise era sobrina del entonces Rey de Prusia, Federico II. Euler mantendrá una correspondencia con ella entre 1760 y 1762, a petición de su padre, siendo ésta una joven de 15 años cuando inicia el carteo. (Ver la *Introducción de Ana Rioja a Leonhard Euler: Reflexiones...*, *op. cit.*, p.15.)

⁵⁶ *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia, op. cit.*, p.137. (Las cursivas son mías.)

gravedad como una propiedad intrínseca de los cuerpos. En tercer lugar, su posición es mecanicista y concluye que:

Es siempre contrario a las reglas de una filosofía razonable introducir un nuevo tipo de fuerzas antes de demostrar indiscutiblemente su existencia. Para ello tendría que haberse probado de modo terminante que las fuerzas con las que los cuerpos se atraen mutuamente no podrían tener su origen en la materia sutil que rodea todos los cuerpos; pero nadie ha probado todavía esa imposibilidad. Más bien parece que el Creador haya llenado expresamente todos los espacios con una materia sutil a fin de dar origen a estas fuerzas que empujan los cuerpos unos hacia otros, y ello conforme a la ley establecida anteriormente acerca de la impenetrabilidad de los cuerpos.⁵⁷

Como Euler es mecanicista, dirá que el nombre de *atracción* es poco adecuado, y que más bien debería decirse que los cuerpos son impulsados unos hacia otros (*Carta 68*).⁵⁸ De cualquier manera, afirma que esta 'Cuestión' corresponde más bien a la metafísica que a las matemáticas.⁵⁹

Puesto que el efecto es el mismo, ya sean dos cuerpos impulsados o atraídos recíprocamente, *el mero nombre de atracción no debe sorprender, ya que con ello no se trata de decidir acerca de la naturaleza misma de la causa.*⁶⁰

Newton mismo había intentado desviar la discusión sobre la causa de la gravedad hacia la descripción matemática, sin embargo no fue conclusivo. Un

⁵⁷ *Ibid*, p.137.

⁵⁸ Ver *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, el tiempo y la materia, op. cit.*, p.100.

⁵⁹ *Ibid*, p.101.

⁶⁰ *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, el tiempo y la materia, op. cit.*, p.102. (Las cursivas son mías.)

ejemplo de ello, es el Escolio con el que termina la Sección XI del libro I de los *Principia*, pues en una parte dice:

*Utilizo aquí la palabra atracción en general, indicando cualquier esfuerzo hecho por los cuerpos para aproximarse entre sí (...) Utilizo en el mismo sentido general la palabra impulso, sin definir en este tratado las especies o cualidades físicas de las fuerzas y reduciéndome a investigar las cantidades y proporciones matemáticas de las mismas, como mencioné antes en las Definiciones [V y VIII].*⁶¹

Pero, en el párrafo intermedio expone que la *atracción* se puede entender como ‘una acción que surge de los cuerpos mismos, tendiendo los unos hacia los otros o perturbándose los unos a los otros por espíritus emitidos; o como la acción del éter, del aire, o de cualquier medio *corpóreo* o *incorpóreo*, que impela los cuerpos los unos hacia los otros’.

Es cierto que, en este Escolio, Newton, hace patente que las fuerzas pueden ser estudiadas en un aspecto matemático y en uno físico, y con ello hace una de las mayores aportaciones a la Mecánica. Sin embargo, también es cierto que no se aparta de aquello que dice no poder explicar. Si hubiese querido hacerlo, habría eludido de una vez y para siempre toda discusión acerca de la naturaleza de la gravedad, como parecía haberlo hecho en la Definición VIII, donde sostiene que ‘sólo pretende dar una noción matemática de las fuerzas, sin especular sobre sus causas y sedes físicas’.

Ahora bien, se puede argumentar que cuando se refiere a la naturaleza de la gravedad en los *Principia*, lo hace sólo para mostrar que,

⁶¹ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, *op. cit.*, p.238. (Las cursivas son mías.)

independientemente de cómo se la entienda, ésta tiene una única descripción matemática. De cualquier modo, hay que tomar en cuenta que, no sólo antes de escribir esta obra sino todavía después, especula sobre un medio etéreo como explicación de la gravedad. Por ejemplo, en unas líneas de una carta a Oldenburg (1617-1677) de 1675⁶² se puede leer:

Pero para proseguir a la hipótesis: Se debe suponer que en ello, hay un medio etéreo, muy parecido a la constitución del aire, pero mucho más rarificado, más sutil y más fuertemente elástico.⁶³

En una carta a Boyle de 1678 hace una exposición, más detallada, sobre el éter como posible causa de la gravedad:

Expondré una conjetura más (...) es acerca de la gravedad. Para este fin supondré que el éter consiste de partes que difieren entre ellas en sutileza por grados indefinidos: que en los poros de los cuerpos, hay menos del éter más grueso en proporción al más fino, que en los espacios abiertos; y consecuentemente, que en el gran cuerpo de la Tierra, hay mucho menos del éter grueso, en proporción al fino, que en las regiones del aire; y que (...) desde la cima del aire a la superficie de la Tierra, y nuevamente de la superficie de la Tierra hacia el centro de ella, el éter es insensiblemente más fino y más fino. Imagínese ahora, cualquier cuerpo suspendido en el aire, o cualquier cuerpo situado sobre la Tierra; y el éter siendo, por hipótesis, más grueso en los poros que están en las partes altas del

⁶² Otra referencia de la época, sobre el tema, es el *De Aere et Aethere* (h.1673-1675), escrito inacabado, e inédito en ese tiempo.

⁶³ "But to proceed to the hypothesis: It is supposed to be therein, that there is an aetherial medium, much of the same constitution with air, but far rarer, subtler, and more strongly elastic". (Citado en Jammer, *Concepts of Force, op. cit.*, p.134.)

Es importante señalar que este escrito que Jammer presenta como correspondencia de Newton a Oldenburg, Gabbey lo presenta como un tratado "An Hypothesis explaining the Properties of Light discoursed on my severall Papers", leído en la Royal Society en 1675 (ver "Newton, active powers and the mechanical philosophy" en *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002, p.340).

*cuerpo, que las que están en las partes más bajas; y que el éter más grueso, siendo menos apto para ser alojado en esos poros, que el éter más fino debajo; se esforzará por salir, y dar paso al éter más fino debajo, que no puede ser, sin que los cuerpos descendan para hacer lugar arriba para que éste pueda subir.*⁶⁴

Posteriormente en la *Óptica*, en las Cuestiones de la 18 a la 22, presenta las mismas ideas. En un pasaje de la ‘Cuestión’ 18 leemos lo que en la carta a Oldenburg.

*¿Y no es este medio [el medio etéreo] extremadamente más raro y sutil que el aire y extremadamente más elástico y activo? ¿Y no penetra prontamente todos los cuerpos? ¿Y no es por su fuerza elástica extendido a través de todos los cielos?*⁶⁵

Y en la ‘Cuestión’ 21, lo que en la carta a Boyle.

¿Y no es este medio mucho más raro dentro de los cuerpos densos del Sol, las estrellas, los planetas y los cometas que en los espacios celestiales vacíos entre ellos? ¿Y al trasladarse desde ellos a grandes distancias, no se hace más denso y denso perpetuamente, y por

⁶⁴ “I shall set down one conjecture more (...) it is about the cause of gravity. For this I will suppose aether to consist of parts differing from one another in subtilty by indefinite degrees: that in the pores of the bodies, there is less of the grosser aether in proportion to the finer, than in open spaces; and consequently, that in the great body of the earth there is much less of the grosser aether, in proportion to the finer, than in the regions of the air; and that (...) from the top of the air to the surface of the earth, and again from the surface of the earth to the centre thereof, the aether is insensibly finer and finer. Imagine, now, any body suspended in the air, or lying on the earth; and the earth being, by the hypothesis, grosser in the pores which are in the upper parts of the body, than in those which are in the lower parts, and that grosser aether, being less apt to be lodged in those pores, than the finer aether below; it will endeavour to get out, and give way to the finer aether below, which cannot be, without the bodies descending to make room above for it to go out into”. (Citado en Jammer, *op. cit.*, p.135.) (Las cursivas son mías.)

⁶⁵ “And is not this Medium [the Aetherial Medium] exceedingly more rare and subtile than the Air, and exceedingly more elastick and active? And doth it not readily pervade all Bodies? And is it not (by its elastick force) expanded through all the Heavens? (Newton, *Opticks*, ‘Cuestión’ 18, *op. cit.*, p.349.)

consiguiente causa la gravedad de esos grandes cuerpos de unos hacia otros, y de sus partes hacia los cuerpos; cada cuerpo esforzándose a ir desde las partes densas del medio hacia las más raras? Pues si este medio es más raro dentro del Sol que en su superficie (...) y más raro ahí que en el orbe de *Saturno*; no veo ninguna razón por la que el incremento de densidad se debiera detener, y no al contrario continuar a través de todas las distancias desde el Sol a *Saturno* y más allá. Y aun cuando el incremento de la densidad pueda a grandes distancias ser extremadamente lento, de cualquier manera, si la fuerza elástica de este medio es extremadamente grande, puede ser suficiente para *impeler* los cuerpos desde las partes más densas del medio hasta las más raras, con todo ese poder que llamamos gravedad.⁶⁶

Otro punto importante sobre el tema de la gravedad, es que en ocasiones, Newton acepta abiertamente que hace conjeturas, pero en otras dice incluso que 'no pretende hacer hipótesis'. En el famoso Escolio a la segunda edición de los *Principia* (1713) escribe:

Hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos, y *no finjo hipótesis. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse una hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental.* En esta filosofía las proposiciones particulares se infieren a partir de los fenómenos, para luego generalizarse mediante la inducción. Así se descubrieron la

⁶⁶ "Is not this Medium much rarer within dense Bodies of the Sun, Stars, Planets and Comets, than in the empty celestial Spaces between them? And in passing from them to great distances, doth it not grow denser and denser perpetually, and thereby cause the gravity of those great Bodies towards one another, and of their parts towards the Bodies; everybody endeavouring to go from the denser parts of the Medium towards the rarer? For if this Medium be rarer within the Sun's Body that at its Surface (...) and rarer there than at the Orb of *Saturn*; I see no reason why the Increase of density should stop any where, and not rather to be continued through all distances from the Sun to *Saturn*, and beyond. And though this Increase of density may at distances be exceedingly slow, yet if the elastick force of this Medium be exceedingly great, I may suffice to impel Bodies from the denser parts of the Medium towards the rarer, with all that power which we call Gravity". (Newton *Opticks*, 'Cuestión' 21, *op. cit.*, pp.350-351.) (Las cursivas son mías.)

impenetrabilidad (...) las leyes de movimiento de los cuerpos y de gravitación. Y es *bastante que la gravedad exista realmente, y actúe con arreglo a las leyes que hemos expuesto, sirviendo para explicar todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar.*⁶⁷

Sobre la base de esta cita, se entiende que lo que quiere poner de manifiesto es que reflexionar sobre la causa de la gravedad es hacer *hipótesis* (físicas o metafísicas); y que lo que vale como filosofía experimental (natural) es sólo la descripción (matemática) del movimiento planetario. Sin embargo, inmediatamente después establecer esto, introduce su idea del 'espíritu sutilísimo'.

Podríamos ahora añadir algo sobre *cierto espíritu sutilísimo* que penetra y yace latente en todos los cuerpos grandes, por cuya acción las partículas de los cuerpos se atraen unas a otras cuando se encuentran a escasa distancia y se ligan en caso de estar contiguas.⁶⁸

Lo que llama la atención, en este caso, es que, no sólo intercala nuevamente la hipótesis del éter, sino que además, termina el pasaje declarando que no dispone de una cantidad suficiente de experimentos para determinar con precisión y demostrar mediante qué leyes opera dicho espíritu (elástico).⁶⁹

En la *Óptica*, en la 'Cuestión' 28, se aprecia otro punto de vista interesante sobre la postulación de hipótesis:

⁶⁷ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.621. (Las cursivas son mías.)

⁶⁸ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.621.

⁶⁹ Ver Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., p.621. (Las cursivas son mías.)

Y para rechazar tal medio [un fluido denso], tenemos la autoridad de aquellos, los más viejos y más celebrados filósofos de *Grecia* y *Fenicia*, que hicieron de un *vacío* y de los átomos, y de la gravedad de los átomos, los primeros principios de su filosofía; atribuyéndole tácitamente la gravedad a otra causa que no a la materia densa. *Filósofos posteriores proscriben la consideración de tal causa fuera de la filosofía natural, fingiendo hipótesis para explicar todas las cosas mecánicamente, y refiriendo otras causas a la metafísica. Cuando la tarea principal de la filosofía natural es argumentar a partir de los fenómenos sin fingir hipótesis y deducir las causas de los efectos, hasta que lleguemos a la misma primera causa, la cual ciertamente no es mecánica; y no sólo para descifrar el mecanismo del mundo, sino principalmente para resolver éstas y otras cuestiones similares.*⁷⁰

Aquí Newton caracteriza como hipótesis el mecanicismo (cartesiano), el cual atribuye a una materia densa. Por otra parte, argumenta al igual que en el Escolio General a los *Principia*, que para dar cuenta de cómo opera la gravedad no se deben 'fingir hipótesis'. Sólo que, mientras que en el famoso Escolio afirmaba que intentar descubrir la causa de los fenómenos era hacer conjeturas, en esta 'Cuestión' de la *Óptica* sostiene que, al investigar la naturaleza, se debe ir de los fenómenos a las causas, para eventualmente llegar hasta la primera causa.

⁷⁰ "And for rejecting such a Medium [a dense Fluid] we have the Authority of those the oldest and most celebrated Philosophers of *Greece* and *Phoenicia*, who made a *Vacuum*, and Atoms, and the Gravity of Atoms, the first Principles of their Philosophy; tacitly attributing Gravity to some other Cause than dense Matter. Later Philosophers banish the Consideration of such a Cause out of natural Philosophy, feigning Hypothesis for explaining all things mechanically, and referring other Causes to Metaphysics: Whereas the main Business of natural Philosophy is to argue from Phaenomena without feigning Hypothesis, and to deduce Causes from Effects, till we come to the very first Cause, which certainly is not mechanical; and not only to unfold the Mechanism of the World but chiefly to resolve these and such like Questions". (Newton, *Opticks*, *op. cit.*, p.369.) (Las cursivas son mías.)

Termino este apartado diciendo que, efectivamente, parece que lo que Newton quería establecer es que, lo único que se puede conocer con certeza son las proporciones matemáticas de las fuerzas entre los cuerpos, y que ir más allá de eso es simplemente teorizar. Ahora bien, si él mismo se permitió hacerlo es porque, en última instancia, era un filósofo natural.⁷¹ La situación, quizá sea un tanto análoga a la de los físicos cuánticos actuales, que están de acuerdo entre sí, en lo que concierne al formalismo matemático de esa Mecánica, aunque no así en su interpretación. Las últimas líneas del Escolio a la sección XI del libro I de los *Principia*, sugieren lo que expongo:

En *matemáticas* hemos de investigar las cantidades de las fuerzas con su proporción consiguiente en cualesquiera condiciones supuestas; luego, cuando descendamos a la *física*, compararemos estas proposiciones con los fenómenos, para poder conocer qué condiciones de esas fuerzas responden a las diversas clases de cuerpos atractivos. *Partiendo de ello podremos argumentar con mayor seguridad sobre las especies físicas, las causas y las proporciones de las fuerzas.*⁷²

6.1.2.2 Los 'principios activos' y 'pasivos' en la materia

En el apartado anterior expuse que Newton reiteradamente hace la distinción entre un examen matemático de las fuerzas y otro físico, y que ello justifica, en una medida, sus reflexiones en torno a la causa de la gravedad. En esta parte, presentaré las bases sobre las que, al margen de lo presentado, su

⁷¹ Ello sumado a sus intereses alquímicos y teológicos. (Para estos temas ver R. S. Westfall, *Never at Rest*, obra citada, F. Manuel, *Isaac Newton Historian*, Harvard University Press, Massachusetts, 1963 o B. Dobbs, *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975.)

⁷² *Ibid*, p.238. (Las cursivas son mías.)

atracción gravitatoria puede ser vista como una ‘acción a distancia’. Asimismo, mostraré dónde Newton mismo contempla esto de manera explícita.

Uno de los temas que forma parte de la agenda para el estudio de la filosofía natural de Newton, y que tiene relación con la suposición de la ‘acción a distancia’, es la ‘filosofía mecánica’. La razón es que hay caracterizaciones de la ‘filosofía mecánica’ que se acoplan al pensamiento de Newton, que sugieren que no es necesario considerar un medio material para dar cuenta de la gravedad.

De acuerdo con Gabbey, se puede entender por ‘filosofía mecánica’: 1) La explicación de los fenómenos en términos no cualitativos de configuraciones y movimientos de corpúsculos (o átomos), u otra materia homogénea individuada en cuerpos. 2) Una teoría en la cual lo espiritual y lo inmaterial han sido desterrados del dominio de la investigación. 3) La noción de que el universo y todo sistema dentro de él es una máquina.⁷³ Las primeras dos acepciones engloban, de manera general, el *mecanicismo cartesiano*. La tercera, la *filosofía corpuscular* de Boyle.⁷⁴ La particularidad que comparten todas ellas es que son explicaciones en las que se precisa de elementos materiales.

En todo caso, la ‘filosofía mecánica’ tiene asimismo otras caracterizaciones, las cuales, por otra parte, dan lugar a la interpretación de que se puede prescindir de cualquier medio material para explicar la *atracción*. Éstas son, el ideal de una imagen del mundo matematizado y la creencia en

⁷³ Ver A. Gabbey, “Newton, active powers and the mechanical philosophy”, *op. cit.* pp.337-338.

⁷⁴ *Ibid*, p. 338.

leyes necesarias de la naturaleza y el movimiento.⁷⁵ La razón por la que la primera de estas acepciones deja abierta la puerta a la suposición de una ‘acción a distancia’ es clara: describir de manera matemática un fenómeno no implica comprometerse con una ontología. El caso de la segunda acepción es similar, pues decir: ‘de acuerdo con las leyes del movimiento’ es compatible con que las causas de los fenómenos sean materiales o inmateriales. Asimismo, que Dios es el agente directo o indirecto del funcionamiento de la naturaleza.

Como se puede apreciar, depende de cuál se considere que es la caracterización de ‘filosofía mecánica’ que conviene a Newton, que se le puede atribuir una u otra explicación de la gravedad, esto es, una de corte mecanicista o una de ‘acción a distancia’.

Otro tema relacionado con la suposición de una ‘acción a distancia’ es el uso del término *mecánico* en los escritos de Newton. Por ejemplo, en su Prefacio a la primera edición de los *Principia* distingue un sentido racional (teórico) del término y otro práctico (manual), de cualquier manera ambos sentidos se refieren claramente a una cuantificación sin ninguna descripción cualitativa, lo que da lugar a que se filtre la idea de que lo que hace es negar la necesidad de cualquier explicación mecanicista. A continuación presento una parte del Prefacio que parece conducir a esta interpretación:

Los antiguos consideraban dos aspectos en la mecánica: el racional que procede con exactitud mediante demostraciones, y el práctico. A la mecánica práctica pertenecen todas las artes manuales, de las que tomó su nombre la mecánica (...) La geometría está basada en la práctica

⁷⁵ Ver A. Gabbey, “Newton, active powers and the mechanical philosophy”, *op. cit.* pp.337-338.

mecánica, no es sino aquella parte de la mecánica universal que propone y demuestra con exactitud el arte de medir. *Pero como las artes manuales se emplean principalmente en el movimiento de los cuerpos, resulta que la geometría se refiere habitualmente a su magnitud, y la mecánica a su movimiento.* En este sentido, la *mecánica racional* será la ciencia de los movimientos resultantes de cualesquiera fuerzas, y de las fuerzas requeridas para producir cualesquiera movimientos, propuestas y demostradas con exactitud. Esta parte de la mecánica –en tanto en cuanto se extiende a los cinco poderes relacionados con las artes manuales- fue cultivada por los antiguos que sólo consideraron la gravedad (no siendo un poder manual) a la hora de mover pesos mediante esos poderes. *Pero yo considero la filosofía más que las artes, y no escribo sobre potencias manuales, sino naturales*, tomando ante todo en cuenta las cosas que se relacionan con la gravedad, levedad (...) pues toda la dificultad de la filosofía parece consistir en pasar de los fenómenos de movimiento a la investigación de las fuerzas de la Naturaleza, y luego demostrar los otros fenómenos a partir de esas fuerzas.⁷⁶

Como se ve, aun cuando en este caso Newton hace un uso de *mecánico* como algo práctico (manual), relaciona este término con la geometría, no con una teoría de las máquinas, por ejemplo, que es lo que usualmente se haría. De igual manera, a lo *mecánico* como ‘racional’ le da un significado netamente formal.

Ahora bien, según Gabbey, hay un tercer sentido de *mecánico* para Newton. Este último sentido, al cual Gabbey llama ‘artesanal’ y que define como algo alquímico⁷⁷ da a entender asimismo una ‘acción a distancia’. La *mecánica* ‘artesanal’ aparece palmariamente en escritos newtonianos tempranos. Por ejemplo, en “Of natures obvious laws & processes in

⁷⁶ *Principios matemáticos de la filosofía natural*, op. cit., pp.5-6. (Las cursivas son mías.)

⁷⁷ Ver A. Gabbey, “Newton, active powers and the mechanical philosophy”, op. cit. p.338.

vegetation” (h. 1672), se lee: “las acciones de la naturaleza son o vegetales o puramente mecánicas” lo que, de acuerdo con Gabbey, corresponde a la distinción entre una ‘química (alquimia) vegetal’ y una ‘común’.

Todas las operaciones en la química común (muchas de las cuales al percibirse son transmutaciones tan sorprendentes como las de la naturaleza) son sólo coaliciones o separaciones de partículas, como se manifiesta en el hecho de que retornan a sus naturalezas anteriores si son reunidas o (cuando desigualmente volátiles) disgregadas, y ello sin ninguna vegetación.⁷⁸

Siguiendo a Gabbey, los procesos mecánicos para Newton tienen que ver, en este caso, con las interacciones entre cuerpos químicos, mientras que la “vegetación” sería el resultado de un éter vivificador y universal que opera de “una manera secreta y noble” en toda actividad animal, vegetal y alquímica.⁷⁹

La idea del éter universal, vivificador conduce a Gabbey a la tesis de la *mecánica* ‘artesanal’, pues según él, Newton siempre buscó interrelacionar su pensamiento alquímico con el mecánico. Los primeros intentos datan de los años 70, pero esta misma intención se constata incluso en la *Óptica*. De ahí que tanto en “An Hypothesis explaining the Properties of Light discoursed of in my severall Papers” (1675) como en la Cuestiones 18 a la 24 (1721) se halle la

⁷⁸ “All the operations in vulgar chemistry (many of which to sense are as strange transmutations as those of nature) are but mechanical coalitions or separations of particles, as may appear in that they return into their former natures if reconjoined or (when unequally volatile) dissevered, & that without any vegetation”. (Citado en Gabbey, *op. cit.*, p.339.)

⁷⁹ Ver Gabbey, *op. cit.*, p.338. “Natures actions are either vegetable or purely mechanical” / “Subtile secret & noble way”. (Citado asimismo en Gabbey.)

misma idea de un medio etéreo como agente de la gravedad,⁸⁰ y de otros fenómenos naturales.

Es importante resaltar que esta lectura de una *mecánica* ‘artesanal’ que propone Gabbey conduce a una interpretación muy distinta a la expuesta en el apartado de *¿Fuerzas mecánicas o espirituales para Newton?*, pues mientras ahí se veía al éter como un agente mecánico de tinte mecanicista, aquí se le ve como un medio que al permear los cuerpos hace que tengan actividad. El sustento de la primera interpretación es la discusión de los contemporáneos de Newton en torno al problema de si su explicación de la *atracción* era ‘mecánica o no-mecánica’. Esto es, en esa época, la discusión se ceñía al asunto de si la gravedad newtoniana era de naturaleza material como contrapuesta a lo inmaterial (espiritual).⁸¹ La segunda interpretación, i.e la de Gabbey, tiene sustento, como he venido exponiendo, en escritos tempranos de Newton y en algunas Cuestiones de la *Óptica*, pero también en el último pasaje del Escolio a la segunda edición de los *Principia*, i.e. donde introduce su noción de ‘espíritu sutilísimo’. Si se recuerda, este ‘espíritu’ penetra y está en todos los cuerpos, y es gracias a su acción que las partículas de éstos se atraen o se repelen entre sí en función de su distancia relativa. Las vibraciones de este ‘espíritu’ producen asimismo los fenómenos eléctricos y los movimientos de los miembros de los animales.⁸²

⁸⁰ Para el sustento de estas afirmaciones ver los pasajes de los textos newtonianos que presento en 6.2.2.1 “*¿Fuerzas mecánicas o espirituales para Newton?*”.

⁸¹ Recordar las críticas de Leibniz en la famosa “Correspondencia”, y las cartas de Euler a Friederike Charlotte Ludovica Luise, sobrina del Rey Federico II de Prusia.

⁸² Ver *Principios de la filosofía*, *op. cit.*, p.621. Las Cuestiones de la *Óptica* en las que se constatan las mismas ideas sobre el medio que hace que se den los fenómenos eléctricos y nerviosos son la 22 y las 23-24, respectivamente.

En todo caso, la idea de un 'espíritu sutilísimo' o 'Sensorio de Dios',⁸³ como aparece en las 'Cuestiones' 28 y 31, no será el último recurso especulativo de Newton. En la última 'Cuestión' deja ver algo que trasciende el problema de la naturaleza del medio etéreo que permea los cuerpos, que es que, al margen de la consideración de los agentes externos materiales o inmateriales para dar cuenta de fenómenos como la *atracción gravitatoria* (la electricidad, el magnetismo o la luz), concibe que los cuerpos mismos poseen un 'principio activo', esto es, la materia no es del todo inerte, i.e. indiferente al movimiento o el reposo:

Me parece que [las partículas de los cuerpos] no sólo tienen una *vis inertiae*, asociada con ciertas leyes pasivas del movimiento que resultan naturalmente de la fuerza, pero también que son movidas por ciertos *principios activos*, tal como es el de la gravedad, la fermentación [efervescencias químicas] y el de la cohesión de los cuerpos.⁸⁴

Ahora bien, estos *principios activos* parece ser que residen en las partículas de los cuerpos:

¿No *poseen* las pequeñas partículas de los cuerpos ciertos poderes, virtudes o fuerzas con las que *actúan a distancia*, no sólo sobre los rayos de luz (...) sino también entre ellas, para producir una gran parte de los fenómenos de la naturaleza? *Pues es bien sabido que los cuerpos actúan unos sobre otros por las atracciones de la gravedad, el magnetismo y la electricidad; y estos ejemplos muestran el sentido y curso de la naturaleza,*

⁸³ La connotación divina de esta noción fue objeto de crítica en todas las cartas de Leibniz en la correspondencia con Clarke, debido a su evidente panteísmo.

⁸⁴ It seems to me that [the Particles that compose Bodies] have not only a *Vis inertiae*, accompanied with such passive Laws of Motion as naturally result from Force, but also that they are moved by certain *active Principles*, such as is that of Gravity, Fermentation and the Cohesion of Bodies. (*Opticks, op. cit.*, p.401.) (Las cursivas son mías.)

y no hacen improbable que pudiera haber más poderes atractivos como éste.⁸⁵

Este principio de actividad, además de ser una hipótesis de ‘acción a distancia, deja ver, por otra parte, una reiterada negación al *mecanicismo cartesiano*.

La *vis inertiae* es un *principio pasivo* por el cual los cuerpos persisten en su movimiento o reposo, reciben movimiento en proporción a la fuerza impresa en ellos, y resisten tanto como son resistidos. Por este principio solo nunca podría haber habido ningún movimiento en el mundo. Algún otro principio fue necesario para poner los cuerpos en movimiento; y ahora en movimiento, algún otro principio es necesario para conservar el movimiento (...) Pues encontramos muy poco movimiento en el mundo aparte del que debemos a estos *principios activos*. Y si no fuera por estos principios, los cuerpos de la Tierra, los planetas, los cometas, el Sol, y todas las cosas en ellos, se enfriarían y congelarían, y se convertirían en masas inactivas (...) y la *vegetación* y la vida cesarían, y los planetas y cometas no permanecerían en sus órbitas.⁸⁶

⁸⁵ “Have not the small Particles of Bodies certain Powers, Virtues or Forces, by which they act a *at a distance*, not only upon the Rays of Light (...) but upon one another for producing a great Part of the Phaenomena of Nature? For it’s well known, that Bodies act one upon another by the Attractions of Gravity, Magnetism, and Electricity; and that these Instances shew the Tenor and Course of Nature, and make it not improbable but that there may be more attractive Powers than these”. (*Opticks, op. cit.*, p.375-376.) (Las cursivas son mías.)

⁸⁶ “The *Vis inertiae* is a passive Principle by which Bodies persist in their Motion or Rest, receive Motion in proportion to the Force impressing it, and resist as much as they are resisted. By this Principle alone there never could have been any Motion in the World. Some other Principle was necessary for putting Bodies into Motion; and now they are in Motion, some other Principle is necessary for conserving the Motion (...) For we meet very little Motion in the World, besides what is owing to these *active Principles*. And if it were not for these Principles, the Bodies of the Earth, Planets, Comets, Sun, and all things in them, would grow cold and freeze, and become inactive Masses (...) and *Vegetation* and Life would cease, and the Planets and Comets would not remain in their Orbits” (*Opticks, op. cit.* pp.397 y 399-400.) (Las cursivas son mías.)

La idea de *principio activo* y, en particular, el contraste entre ésta y la de *principio pasivo* aparece exclusivamente en la 'Cuestión' 31. Su importancia radica en que, como afirma Whittaker (1873-1956), Newton 'empezó a ver la hipótesis del éter como algo superfluo y a desear deshacerse de ella'.⁸⁷ Por otra parte, esta idea es importante, pues hace ver que intentar dilucidar la ontología que subyace a las *fuerzas newtonianas* tal vez resulte ocioso. Si primero se tenía el problema de la causa de la gravedad y posteriormente el de la naturaleza del éter como su posible agente, en este caso, nos enfrentamos al de los *principios activos*. Suscribir una tesis como la de Mc Mullin en su artículo "¿Es activa la materia?",⁸⁸ tampoco aclara el panorama. Este autor afirma que 'la *materia newtoniana* contrastaba con el *espíritu*, el cual era entendido de manera muy amplia, ya que incluía no sólo a Dios, sino también a los agentes responsables de los movimientos de acción química y eléctrica, e incluso, quizá, del movimiento acelerado. Así, 'la *materia* sería inerte y el *espíritu*, la capacidad para iniciar el movimiento'.⁸⁹ Esta interpretación tiene varias dificultades. En primer lugar, atribuye a Newton el haberse impuesto "a sí mismo la ingrata tarea de encontrar un hogar para las fuerzas que no fuera la materia", lo que no parece evidente, en la 'Cuestión' 31.⁹⁰

En segundo lugar, porque supone que la *materia newtoniana* debe ser necesariamente inerte por cuestiones de índole teológica:

⁸⁷ Ver Introducción a *Opticks...., op. cit.*, por Sir Edmund Whittaker, p.lxxii. (Ver asimismo Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Thomas Nelson and Sons, London, 1951.)

⁸⁸ E. Mc Mullin "¿Es la materia activa?" en *El concepto de materia*, L. Benítez y J. A. Robles (coords.), Colofón, México, 1992, pp.80-102.

⁸⁹ Ver p.101 en obra citada.

⁹⁰ Ver p. 100 en obra citada.

Él [Newton] creía que la doctrina cristiana de la creación implicaba una dependencia total del mundo respecto a la actividad de Dios y a menudo se inclinaba por interpretar el significado de esto como que la actividad del mundo tenía que venir directamente de Dios, sin ningún intermedio secundario. *Ubicar en la materia los principios activos responsables del movimiento, como Leibniz lo había hecho, era convertir la materia, una vez creada, en una entidad autosuficiente. Para Newton esto parecía equivalente al ateísmo; él estaba tan deseoso como lo había estado Aristóteles de encontrar a su Primer Motor en la cima de su sistema mecánico. En su opinión, era totalmente impropio suponer que los movimientos de los cuerpos físicos podrían explicarse sin recurrir de ningún modo al poder Dios.*⁹¹

Sin embargo, siguiendo una afirmación matizada de los Hall, el que algunas *fuerzas* sean materiales no se contradice con que Dios sea, en última instancia, quien las origine:

Parece probable que, de cualquier manera, al menos, al escribir este tratado [los *Principia*], Newton no sostenía la creencia de que todas las fuerzas naturales son mecánicas en el sentido cartesiano, esto es, resueltas por el impacto de una partícula sobre otra. Al contrario, parece sostener que todas las fuerzas naturales, sin importar su origen, o su asociación con la materia, eran resultado de la voluntad divina.⁹²

Además, Mc Mullin en el texto tratado, identifica el ‘espíritu eléctrico’ de los *Principia*, con los ‘espíritus’ a los que Newton se refiere en la *Óptica*, los cuales, por cierto, son claramente materiales, pues son el del vino, el de los *vitriolos* y el de la *trementina*.

⁹¹ E. Mc Mullin, *op. cit.*, p.101. (Las cursivas son mías.)

⁹² A. Hall y M.B. Hall, *Unpublished Scientific Papers, op. cit.*, pp.80-81.

Asimismo, si nos remitimos a la interpretación de los Hall, aun cuando ésta sea más de avanzada, tendremos siempre una visión reducida de las *fuerzas newtonianas*, pues de acuerdo con ellos:

El mero hecho de que [Newton] especulara sobre el éter como un mecanismo que daba cuenta de las fuerzas atribuidas a las partículas materiales, satisfacía el prejuicio de una era que a falta de un concepto de teoría de campo, detestaba la noción de una acción a distancia y veía en el mecanismo de jalones y empujones de un éter la única escapatoria a ella. Enfrentados entre la opción de un universo cartesiano, con un mecanismo de bolas de billar, reescrito en términos newtonianos y un universo que requiriera el inconcebible concepto de una acción a distancia, los siglos XVII, XVIII y XIX prefirieron el primero. Pero, porque esto fue así y porque Newton mismo compartía el desdén general por la noción de acción a distancia, no debemos suponer que Newton no estaba al tanto de la distinción entre una hipótesis y una teoría; ni debemos concluir que estas especulaciones sobre el éter fueran el fundamento de su teoría de la materia, cuando de hecho eran, a los sumo, hipótesis auxiliares.⁹³

Como se ha visto, el éter no fue para Newton, al menos por un largo tiempo, una hipótesis auxiliar; aunque tampoco fue, por las razones antes expuestas, un pilar de su sistema, como afirma Cohen.⁹⁴

Por consiguiente, en lo que debiera ponerse mayor énfasis, al respecto de las *fuerzas* aquí tratadas, es en la capacidad que tuvo Newton de prever que la gravedad y el electromagnetismo son las dos fuerzas macroscópicas de la naturaleza. Así como, que los impulsos en los músculos, las reacciones químicas, y la luz son de naturaleza eléctrica o electromagnética. Lo que, por

⁹³ A. Hall y M. B. Hall, *Unpublished Scientific Papers*, op. cit.p.193.

⁹⁴ Ver A. Hall y M. B. Hall en obra citada, p.192-193.

otra parte, no deja de ser una búsqueda de los fundamentos metafísicos de la naturaleza.

CAPÍTULO 7. LOS FUNDAMENTOS METAFÍSICOS DE LA FUERZA LEIBNIZIANA

-Eh bien, mon cher Pangloss, lui dit Candide (...) avez-vous toujours pensé que tout allait le mieux du monde? –Je suis toujours de mon premier sentiment, répondit Pangloss, car en fin je suis philosophe: il ne me convient pas de me dédire, Leibnitz ne pouvant pas avoir tort, et l'harmonie préétablie étant d'ailleurs la plus belle chose du monde.¹

Voltaire

En este capítulo me ocuparé del estatus ontológico que las fuerzas tienen para Leibniz, y las razones por las que, a partir de cierto momento, pensó que la materia debía contener una suerte de principio activo como causa de la acción de los cuerpos. Así, en esta sección se verá cómo Leibniz, al igual que Newton, parte de una noción de materia inerte para posteriormente dotarla de actividad. Mostraré también que, en sus reflexiones en torno a estas cuestiones, los trabajos de Descartes y de Newton fueron determinantes. En la presentación de estos temas, daré primero una visión global de los escritos de Leibniz sobre filosofía natural en los que hace referencia a la materia, para posteriormente analizar el desarrollo de su concepto de fuerza.

¹ *Candide ou l'optimisme* (1759), Librairie Générale Française, Francia, 1983, p.119.

7.1 La literatura acerca de la 'materia'

Los escritos existentes² donde Leibniz discute sobre la *materia* pueden dividirse en tres: los de juventud (1669), los de un periodo intermedio (1670-1684, aproximadamente) y los de su etapa de madurez, que va de 1686 hacia el final de su vida.³ En los escritos de juventud se exhibe una adhesión a la filosofía mecánica de corte cartesiano, pero asimismo un deseo de conciliación entre las ideas de dicha filosofía y las de la aristotélica. Ello se puede constatar en una carta dirigida al jurista Jakob Thomasius (1622-1684).⁴ Asimismo, un pasaje autobiográfico en una misiva de 1714 al geómetra Pierre Rémond de Montfort (1678-1719) hace ver esto:

Cuando joven descubrí a Aristóteles, e incluso los Escolásticos no me repelieron; aun ahora no me arrepiento de ello (...) Después de que terminé la escuela elemental, conocí a los [filósofos] modernos, y recuerdo estar caminando por una arboleda, en los linderos de Leipzig, llamada el Rosenthal, a la edad de quince años, deliberando acerca de si conservar las *formas sustanciales* o no. El mecanicismo finalmente prevaleció y me condujo a las matemáticas. *Sin embargo, cuando busqué las razones últimas para el mecanicismo e inclusive para las leyes del movimiento, me sorprendió ampliamente ver que no podían ser encontradas en las*

² Según reporta Garber, no sobrevive ningún escrito del periodo mecanicista temprano de Leibniz, el cual pudo haber comenzado hacia 1661 (ver Garber "Leibniz: physics and philosophy" en *The Cambridge Companion to Leibniz*, Cambridge University, Cambridge, 1998, p.272).

³ Para la división de los escritos *físico-filosóficos leibnizianos* que presento, me he ayudado de las caracterizaciones hechas por S. Nemirovsky en su Estudio Preliminar a los *Primeros principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* de Kant, UNAM, México, 1993, p.29 y A. Herrera en "Leibniz y el concepto de materia" en L. Benítez y J. A. Robles, *El concepto de materia*, *op. cit.*, p.116.

⁴ Ver "Letter to Jacob Thomasius" en L. Loemker, *op. cit.*, *Philosophical Papers and Letters*, *op. cit.*, pp.94-95.

*matemáticas sino que tenía que regresar a la metafísica. Ello me llevó de regreso a las entelequias, y de lo material a lo formal.*⁵

El periodo intermedio de escritos coincide, en parte, con una serie de misiones diplomáticas que Leibniz tuvo dentro de Europa: su estancia en Francia de 1672 a 1676 en la que conoce a Huygens, con quien estudia matemáticas, y dos viajes a Inglaterra donde, en el primero de ellos (1673), es elegido miembro de la Sociedad Real gracias a su modelo de una máquina calculadora de cuatro funciones. Asimismo, este periodo coincide con su descubrimiento de los cálculos diferencial e integral (1673-76), además de la primera publicación de éstos en 1684 y 1686, respectivamente.⁶

En relación con la *materia*, lo relevante es el envío de algunas cartas, entre ellas, una a Hobbes (1588-1679) en 1670, y otra a Arnauld (1612-1694) en 1671. Las cartas mencionadas contienen una serie de notas sobre cuestiones referentes a una *teoría del movimiento*. En el mismo tenor, Leibniz redacta un tratado, *Hypothesis physica nova*, que apareció en dos partes en 1671, una como “Theoria motus abstracti”, dedicada a la Academia Francesa de las Ciencias, y la otra como “Theoria motus concreti”, presentada ante la Sociedad Real de Londres.⁷

⁵ “Letters to Nicolas Remond” en L. Loemker, *op. cit.*, pp.654-655. (Las cursivas son mías.) *Entelequia* es el término empleado por Aristóteles para indicar el acto final o perfecto, i.e. la realización de la potencia. Leibniz adoptó este término para definir las sustancias simples (o mónadas creadas –desde 1696), en cuanto tienen cierta autosuficiencia que las hace origen de sus acciones internas. (Ver *Diccionario de filosofía* de Abbagnano, *op. cit.*, p.408.)

⁶ Respecto de la primacía del descubrimiento del cálculo infinitesimal se ha escrito mucho; el hecho es que Newton lo inventó primero (1665-6) mientras que Leibniz lo hizo entre 1673-6, pero este último lo publicó en 1684-6 y Newton hasta 1704. (Para una visión pormenorizada de este tema ver J. Rey Pastor y J. Babini, *Historia de las matemáticas*, Gedisa, Barcelona, 2000, pp.79-88.)

⁷ Para estas afirmaciones ver L. Loemker, *Philosophical Papers and Letters*, *op. cit.*, p.139. A diferencia de Loemker, Garber afirma que el “Theoria motus concreti” y el

La etapa de madurez en lo que concierne al tema particular, data de 1686, cuando saca a la luz su *Breve demostración del error memorable de Descartes y otras demostraciones concernientes a la ley natural* en el *Acta Eruditorum*.⁸ En este trabajo presenta al público, por primera vez, lo que algunos años atrás venía exponiendo en parte de su correspondencia privada, a saber, que la ley cartesiana de la ‘conservación de la cantidad de movimiento’ es falsa.⁹ La *Breve demostración...*¹⁰ es importante no sólo porque marca el inicio de la contienda que mantendrá contra los cartesianos, que posteriormente se convertirá en la famosa ‘polémica de las *fuerzas vivas*’,¹¹ sino porque en ella da la pauta de lo que será su posterior programa de *dinámica*. Los fundamentos de la dinámica, “ciencia de las leyes de las fuerzas corporales”, aparecerán en el ensayo titulado *Specimen Dynamicum*¹² (1695) y en *De la naturaleza misma, o sobre las fuerzas inherentes y acciones de las cosas creadas* (1698). Asimismo, en su correspondencia de 1698-99 con Juan Bernoulli (1667-1748).

Hypothesis physica nova son el mismo texto (ver “Leibniz: physics and philosophy”, *op. cit.*, pp. 337-338).

⁸ A Leibniz se le debe la fundación del *Acta Eruditorum* en 1682, siguiendo la pauta del *Journal de Savants* (1665) y de los *Philosophical Transactions* (1665).

⁹ Ver “Selections from Leibniz’s Correspondence: To Francois de la Chaise (1624-1709), [1680(?)]” en L. Loemker, *op. cit.*, p.274.

¹⁰ En el invierno de 1685-6 Leibniz redacta un manuscrito que se conoce actualmente como *Discurso de metafísica*. Este texto contiene las ideas contenidas en la *demostración...*, junto con algunos principios metafísicos, sin embargo no fue publicado sino hasta 1846.

¹¹ Tema discutido en el apartado 4.4 de este trabajo.

¹² El *Specimen Dynamicum* contiene dos partes pero sólo la primera de ellas fue publicada en vida de Leibniz, la segunda permaneció inédita y fue encontrada por Gerhardt entre los manuscritos de Hannover. Por otra parte, el *Specimen* es el compendio de un trabajo mayor que Leibniz había escrito entre los años 1689-90 en un viaje a Italia, pero que dejó en ese país con la intención de publicarlo después de ser sometido a la crítica de sus amigos. (Ver L. Loemker, *op. cit.*, p.435.) El título de dicho trabajo es *Dynamica de Potentia et Legibus Naturae corporae*. (Ver Garber, “Leibniz: physics and philosophy”, *op. cit.*, p.281.)

Es importante señalar que el programa 'dinámico' no se reduce a tratar de corregir los errores de la física cartesiana (la cantidad de movimiento como fuerza que se conserva, la discontinuidad en las leyes de impacto o la noción de extensión),¹³ sino que también pretende subsanar la inercia y gravitación newtonianas, que de acuerdo con Leibniz son inexplicables en términos exclusivamente mecánicos.

7.2 La 'materia' leibniziana

Para el análisis del desarrollo del concepto de *fuerza* de Leibniz comienzo mi exposición remontándome nuevamente a los escritos de sus etapas de juventud y media.

Como expuse al principio de esta sección, Leibniz dirige una carta a Jakob Thomasius en 1669. Ésta es importante por dos razones, relacionadas entre sí. La primera porque, debido a la fecha de la misiva, sirve como punto de partida para ver el curso de la *fuerza leibniziana*. La segunda, porque en ella se aprecia una caracterización de la materia que posteriormente tendrá cambios esenciales.

La cuestión de que Leibniz concibiera la materia de distintas maneras no es relevante sólo *per se*, sino porque en ellas hay un rasgo distintivo que será una constante: contienen nociones aristotélicas. Así, en la época de su correspondencia con Thomasius, establece que la materia se puede entender

¹³ Las primeras dos cuestiones se vieron en la primera parte de este trabajo, en las secciones 4 y 3, respectivamente. La tercera se verá *infra*.

como una [*massa*],¹⁴ i.e. la extensión¹⁵ con la propiedad de impenetrabilidad [*antitipia*].

La *materia prima* es la *masa* misma, en la que no hay nada sino *extensión* y *antipatía* o *impenetrabilidad*. *Tiene la extensión del espacio que llena*. La naturaleza misma de la materia consiste en ser algo sólido e impenetrable y, por tanto, *movible*, cuando algo la golpea (...) Ahora bien, esta *masa continua* que llena todo el mundo mientras todas sus partes están en reposo, *es la materia prima a partir de la cual todas las cosas son producidas por movimiento y a la cual son reducidas a través del reposo*. No hay diversidad en ella sino homogeneidad, excepto a través del movimiento.¹⁶

Es importante hacer notar que si bien a partir de esta última cita pareciera que a Leibniz le convence el *mecanicismo cartesiano*, la realidad es que no es así del todo. Líneas más atrás dice:

Soy cualquier cosa menos un cartesiano. Mantengo la regla que es común a todos los reformadores de la filosofía, que sólo la magnitud, la figura y el movimiento deben ser usadas para explicar las propiedades corporales. Descartes mismo, sostengo, propuso esta regla sólo como método, de ahí que cuando la tuvo que poner en práctica, abandonó completamente su estricto método y saltó abruptamente a ciertas hipótesis sorprendentes.¹⁷

¹⁴ Desde mediados de los años 1690, Leibniz usará el término <*massa*> o <*moles*> para referirse a lo que para esa época será su caracterización de la *materia segunda*.

¹⁵ En esa etapa de su vida Leibniz concebía la materia y el espacio como seres extensos. El espacio: un ser extenso primario; la materia: un ser extenso secundario. De esta manera, el espacio era un “cuerpo matemático” de tres dimensiones, el *locus* universal de todas las cosas, y la materia un “cuerpo físico” que ocupaba el espacio. (Ver “Letter to Jacob Thomasius”, *op. cit.*, p.100.) Es importante asimismo señalar que, en ese entonces no consideraba necesario comprometerse con la idea de que el espacio fuera vacío o un *pleno* para dar cuenta del movimiento (ver obra citada p.94).

¹⁶ Leibniz, “Letter to Jacob Thomasius”, *op. cit.*, p.95. (Las cursivas son mías.)

¹⁷ Leibniz, “Letter to Jacob Thomasius”, *op. cit.*, p.94. (Las cursivas son mías.)

Lo que sucede, entonces, es que como la teoría del movimiento de Descartes era la que permeaba esa época, Leibniz estaba constreñido a hablar en sus términos. Por ello, en este tiempo introduce la idea de que la filosofía moderna [reformada] puede ser reconciliada con la aristotélica y no entra en conflicto con ella. De esta manera creía que se podía subsanar lo que a su juicio eran las carencias de la filosofía natural de Descartes; en este caso particular, suponer que era posible dar cuenta de la individuación de los cuerpos a partir de la mera extensión material.¹⁸

Difícilmente cualquier hombre cuerdo cuestionaría los muchos argumentos de *Aristóteles* en sus ocho libros sobre física, y los de toda su metafísica (...) *La pregunta importante es si las teorías abstractas de Aristóteles sobre la materia, la forma y el cambio pueden ser explicadas por la magnitud la figura y el movimiento.* Los Escolásticos lo niegan y los reformadores de la filosofía lo afirman. La opinión de los últimos me parece no sólo la más verdadera sino también la más consistente con Aristóteles. (...) *Puede ser mostrado que la filosofía reformada puede ser reconciliada con la de Aristóteles y no entra en conflicto con ella* o inclusive que la una no sólo puede sino debe ser explicada por la otra. El primer caso establece la posibilidad de su reconciliación; el segundo, la necesidad. Pero si la reconciliación puede ser mostrada, por ese mero hecho es ya llevada a cabo.¹⁹

Es importante resaltar que en este periodo Leibniz se ocupa sólo de la *materia*, no aún de la *fuerza*, denominada como tal. Por tanto, para poder dar cuenta de la causa del movimiento, necesita apelar a Dios como fuente de

¹⁸ Para estas afirmaciones ver obra citada, p.94.

¹⁹ Leibniz, "Letter to Jacob Thomasius", *op. cit.*, pp.94-95. (Las cursivas son mías.)

actividad en el mundo, si bien en este caso no lo nombra explícitamente, sino que le llama 'mente'²⁰

Aristóteles dice que la geometría no toma en cuenta la materia. Por tanto, la geometría trata de la forma sustancial. Así que se me ocurre, mientras escribo esto, una hermosa armonía entre ciencias; a saber, que bajo un examen cuidadoso aparece que la teología o la metafísica tratan de la causa eficiente de las cosas, o mente (...) las matemáticas (quiero decir las matemáticas puras, pues el resto son parte de la física) tratan de la forma o idea de las cosas; la física trata de la materia de las cosas y su única afección; resultado de la combinación de la materia con otras causas, o movimiento. Pues la mente suministra movimiento a la materia (...) La materia por sí misma está desprovista de movimiento. La mente es el principio de todo el movimiento, como Aristóteles bien lo vio.²¹

Lo interesante de esta *mente*, como origen del movimiento, es que no se trata de una *forma sustancial* sino que, en este estadio de sus escritos, lo que se rescata del aristotelismo es la idea del Motor Inmóvil:

Aristóteles parece no haber imaginado nunca forma sustancial alguna que fuera por sí misma la causa del movimiento en los cuerpos, tal como los Escolásticos las entendieron (...) Pues ningún cuerpo se mueve a menos que sea movido desde fuera, como Aristóteles no sólo dice acertadamente sino demuestra (...) Admito, por tanto, que la forma es el principio de movimiento en un cuerpo, y que el cuerpo mismo es el principio de movimiento en otro cuerpo. Pero el primer principio de movimiento es la forma primera, la cual se abstrae de la materia, a saber, la mente, que es al mismo tiempo, la causa eficiente (...) Por consiguiente, no es absurdo que dentro de las formas sustanciales, sólo la mente sea designada como el primer principio del movimiento (...) Y como dije, Aristóteles considera

²⁰ Para estas afirmaciones ver A. Herrera, "Leibniz y el concepto de materia", *op. cit.*, p.118. Ver asimismo Garber, "Leibniz: physics and philosophy", *op. cit.*, p.273.

²¹ Leibniz, "Letter to Jacob Thomaisus", *op. cit.*, pp.98-99. (Las cursivas son mías.)

cierto que ningún cuerpo tiene algún principio de movimiento dentro de sí, y es por este argumento que asciende al *Primer Motor*.²²

Una vez que Leibniz supone haber mostrado que la filosofía moderna debe ser reconciliada con la aristotélica y que, por consiguiente, sólo una 'mente' puede generar el movimiento, procede a explicar qué es éste último en particular. Para ello, establece antes una ontología de su física:

*Debe ser probado que no hay más entidades en el mundo que la mente, el espacio, la materia y el movimiento. Un ser pensante que llamo mente. El espacio es un ser extendido primario (...) La materia es un ser en el espacio o coextenso al espacio. El movimiento es cambio de espacio (...) El tiempo no es nada sino una magnitud del movimiento.*²³

Ahora bien, con su explicación del movimiento en concreto, Leibniz introduce una peculiaridad que será definitoria en toda su filosofía natural posterior, a saber, la distinción entre un nivel fenoménico y otro metafísico para acceder al conocimiento del mundo. Así, desde este estadio de sus escritos, le da realidad metafísica a la materia, pero no así al movimiento ni a los cuerpos, como tal.²⁴

La naturaleza del cuerpo está evidentemente constituida por la extensión y la antipatía (...) Por consiguiente, no podemos asumir nada en los cuerpos que no se siga de [esta] definición. De estos conceptos se derivan sólo la magnitud, la figura, la situación, el número, la movilidad, etc. El movimiento no se deriva de ellos. De ahí que no hay movimiento, estrictamente hablando, como una entidad real en los cuerpos (...) Cualquier cosa que

²² *Ibid*, p.99. (Las cursivas son mías.)

²³ Leibniz, "Letter to Jacob Thomaisus", *op. cit.*, p.100. (Las cursivas son mías.)

²⁴ De la misma manera el espacio, que en este tiempo tiene una realidad metafísica para Leibniz, se convertirá, en su etapa de madurez, en un "fenómeno bien fundado".

se mueve es continuamente creada y *los cuerpos son algo en cualquier instante asignable al movimiento*, pero no son nada en el tiempo [que transcurre], a mitad de camino, entre los instantes del movimiento.²⁵

7.3 La 'fuerza' leibniziana

Se puede decir que la idea de *fuerza* para Leibniz comienza a perfilarse poco antes de su viaje a Paris (1672). Esto es, con su noción de *conato*, la cual da a conocer, por primera vez, en privado, en sus cartas a Hobbes (1670) y Arnauld (1671), y al público, en su *Hypothesis physica nova* (1671). Esta noción de *conato*, en este periodo intermedio de sus escritos sobre filosofía natural, está ligada, a una necesidad propia de presentar una *teoría del movimiento* más correcta que la de Descartes.

En un primer intento por empezar un carteo con Hobbes que, dicho sea de paso, este último nunca correspondió, Leibniz le manifiesta que está de acuerdo con sus principios abstractos sobre el movimiento, pero que no encuentra en ellos la manera de dar cuenta de la *cohesión* de los cuerpos:

Estoy de acuerdo con usted que un cuerpo no es movido por otro, a menos que, el último lo toque estando en movimiento; y que una vez comenzado éste, continua salvo que sea impedido por algo (...) [Sin embargo] *como usted parece sugerir en alguna parte, la reacción es la única causa de la cohesión, habrá reacción aun sin impacto* (...) Pero tal vez estas pequeñas dudas han surgido porque no entiendo suficientemente sus puntos de vista.²⁶

²⁵ Leibniz, "Letter to Jacob Thomasius", *op. cit.*, pp.101-102. (Las cursivas son mías.)

²⁶ Leibniz, "Letter to Thomas Hobbes" en L. Loemker, *op. cit.*, p.106. (las cursivas son mías.)

La discusión de Hobbes acerca de la 'reacción' de los cuerpos que chocan se encuentra en su *De corpore* (h.1651), pero según Loemker, no pretendía explicar con ella la cohesión, como Leibniz cree. Lo interesante es que con base en esta presuposición empieza su propia exposición de la cohesión:

Yo debería pensar que el conatus de las partes entre sí, o el movimiento por el cual se presionan unas a otras, es suficiente por sí mismo para explicar la cohesión de los cuerpos. Pues los cuerpos que se presionan unos a otros están en un conato para interpenetrarse. El conatus es el comienzo; la penetración es la unión: Pero cuando los cuerpos se empiezan a unir, sus límites o superficies son una. Los cuerpos cuyas superficies son una, son de acuerdo con la definición de Aristóteles, no sólo contiguos sino continuos, y verdaderamente un cuerpo, movable en un movimiento.²⁷

Una vez que ha expuesto que a partir del *conato* se puede dar cuenta de la cohesión, acomete la tarea de mostrar que el *conatus* es asimismo la causa de que los cuerpos que chocan se muevan.

Reconocerá que, si hay alguna verdad en estos pensamientos, éstos cambiarán muchas cosas en la teoría del movimiento (...) Presionar es luchar por el lugar hasta ese momento ocupado por otro cuerpo. El conatus es el comienzo del movimiento y, por tanto, el comienzo de la existencia [de un cuerpo] en el lugar por el que está luchando. Existir en un lugar en donde algo más existe es haberlo penetrado. Por consiguiente, la presión es el conatus de la penetración. Pero difícilmente puede haber alguien más preciso para examinar estas demostraciones que usted, distinguido Señor.²⁸

²⁷ Leibniz, "Letter to Thomas Hobbes" en L. Loemker, *op. cit.*, p.107. (Las cursivas son mías.)

²⁸ *Ibid*, p.107. (Las cursivas son mías.)

Con esta presentación del *conatus* como causante del cambio de lugar finaliza su discurso sobre este tema, en esta carta a Hobbes. Lo que aquí se aprecia es que Leibniz todavía tiene la idea de una materia netamente pasiva (como en la carta a Thomasius), por lo que necesita del *conatus* para dar cuenta del movimiento. De la misma manera que necesitaba de la 'mente', en la misiva a quien en la adolescencia fuera su preceptor (Thomasius). En cualquier caso, este *conatus* ya es algo perteneciente al cuerpo, como derivado de la impenetrabilidad, mientras que la 'mente' era un agente externo.

Los temas que Leibniz trata en su carta a Arnauld son una combinación de los expuestos a Hobbes y a Thomasius. En la primera parte de ésta hace algunas especificaciones a lo que le había escrito a Thomaisus, como se muestra a continuación:

Vi que la *geometría*, o la filosofía de la posición, es un paso hacia la *filosofía del movimiento y de los cuerpos*; y que la filosofía del movimiento es un paso hacia la ciencia de la *mente*.²⁹

También en esta parte de la misiva se ve una puntualización sobre la *naturaleza de los cuerpos*; para ello, Leibniz nuevamente confronta el *mecanicismo cartesiano*. En las primeras líneas del pasaje hace ver que la naturaleza del cuerpo debe ser el *movimiento*:

[Con base en lo expuesto sobre la filosofía del movimiento y la ciencia de la mente] he demostrado algunas proposiciones acerca del movimiento de gran importancia, de las cuales estableceré dos aquí. Primero, no hay

²⁹ Leibniz, "Letter to Antoine Arnauld" en L. Loemker, *op. cit.*, p.148. (Las cursivas son mías.)

cohesión o consistencia en los cuerpos en reposo, contrario a lo que Descartes pensaba, y más aun, *lo que está en reposo, puede ser impelido y dividido por el movimiento, no importa cuán pequeño sea (...)* Del primer principio se sigue que *la esencia del cuerpo consiste más bien en el movimiento*, pues el concepto de espacio no implica nada más que la magnitud y figura, o extensión.³⁰

En las siguientes, que la esencia de los cuerpos no puede ser la *extensión*:

La otra proposición es que todo el movimiento en un *pleno* es circular y homocéntrico y que ningún movimiento rectilíneo, espiral (...) puede ser entendido, *a menos que, se acepte un vacío (...)* Del último principio se sigue que *la esencia del cuerpo no consiste en la extensión*, esto es, magnitud y figura, porque el espacio vacío, aunque extendido, debe ser necesariamente distinto del cuerpo.³¹

La carta continúa con una referencia a su noción de *conato* y la relación de éste con la geometría de 'indivisibles'.³²

En geometría he demostrado ciertas proposiciones fundamentales (...) Éstas son, que cualquier punto es un espacio más pequeño que cualquier espacio dado; que el punto tiene partes, si bien éstas son densas [*indistantes*] (...) que un punto es más grande que otro, pero en una relación menor que cualquiera que pueda ser expresado (...) De la *foronomía* de indivisibles añadí a estos que la relación entre el reposo y el movimiento no es la misma que la de un punto al espacio sino la de nada a uno; que un *conatus* es al movimiento como un punto es al espacio; que

³⁰ *Ibid*, p.148. (Las cursivas son mías.)

³¹ *Ibidem*, p.148. (Las cursivas son mías.) En esta época Leibniz concibe la idea de un espacio vacío, de cualquier manera años más tarde la rechazará. Hacia 1680 tendrá ya un argumento para afirmar que el vacío no existe. Éste será el de *los indiscernibles*, con el cual establecerá que si existiera el espacio vacío, sus partes serían idénticas entre sí y, por tanto, no podrían distinguirse. (Ver "First Truths" en L. Loemker, *op. cit.*, pp.267-270.)

³² Para esta noción de los 'indivisibles', Leibniz se basa expresamente en el método de Cavalieri (1598-1674). (Ver "Theoria motus abstracti" en L. Loemker, *op. cit.*, p.140.)

puede haber varios *conatos* al mismo tiempo en el mismo cuerpo, pero no varios movimientos contrarios; que en el tiempo de su *conatus* un punto de un cuerpo en movimiento puede estar, a veces, en muchos lugares o en muchos puntos de un espacio, o en una parte del espacio mayor que él mismo; que sea lo que se mueva nunca está en un sólo lugar, ni siquiera en un instante infinitésimo.³³

Esta exposición que hace del *conato* le sirve para presentar nuevamente su concepción de la cohesión³⁴ y algunas precisiones sobre su *teoría del movimiento*.

*Hay ciertas partes o signos momentáneos, una concepción que puede ser entendida a partir del movimiento continuamente acelerado que se incrementa a cada instante y, por tanto, al mero comienzo. Pues al incrementar se conecta el estado anterior con el posterior. En un instante dado, un signo [momentáneo] es necesariamente anterior al otro, pero sin extensión, esto es, sin ninguna distancia entre los signos, cuya relación con cualquier tiempo sensible, el que sea, es mayor que cualquier cantidad dada, o como la del punto a una línea.*³⁵

En las líneas que siguen a este párrafo, Leibniz hace otra exposición del *conato*; esta vez, en relación con la *mente*. Esta nueva manera de presentar el *conato* es la idea incipiente de lo que serán la *teoría de la armonía preestablecida*, y más tarde su noción de *mónada*:

De estas proposiciones hice madurar una gran cosecha, no sólo al proveer las leyes del movimiento, sino también en la doctrina de la mente. Pues demostré que el verdadero lugar de la mente es un cierto punto o centro, y

³³ Leibniz, "Letter to Antoine Arnauld", *op. cit.*, p.149. (Las cursivas son mías.) *Foronomía*: doctrina de las leyes del movimiento.

³⁴ Ver Leibniz, obra citada, p.149.

³⁵ Leibniz, "Letter to Antoine Arnauld", *op. cit.*, p.149.

de esto deduje algunas insignes conclusiones acerca de la naturaleza imperecedera de la mente, la imposibilidad para cesar de pensar, la imposibilidad de olvidar y la verdadera e íntima diferencia entre el movimiento y el pensamiento. *El pensamiento consta de un conatus así como el cuerpo consta de movimiento. Todo cuerpo puede ser entendido como una mente momentánea o una mente sin recuerdos. Todo conatus en los cuerpos es indestructible con respecto a su dirección [determinatio] (...) Al igual que el cuerpo consiste en una secuencia de movimientos, la mente consiste en una armonía de conatos.*³⁶

Para concluir con el tema de los *conatos*, presento otras ideas que permiten tener una visión más acabada de esta noción. Para ello me baso, esta vez, en el “*Theoria motus abstracti*”. Este texto, como expuse antes, es la primera parte del *Hypothesis physica nova* (1671), y fue dedicado a la Academia Francesa de las Ciencias. Por otra parte, Leibniz lo redactó poco antes de que le escribiera a Arnauld, de ahí que, en este caso, la versión de *conato* sea básicamente la misma que la de la misiva.

*No hay un mínimo en el espacio o en un cuerpo, esto es, no hay ninguna parte en la que la magnitud pueda ser cero; tal cosa no puede tener ninguna posición pues lo que no tiene ninguna posición puede estar en contacto, al mismo tiempo, con muchas cosas que no se tocan entre sí.*³⁷

En otras palabras, aun cuando, en principio, toda extensión es divisible al infinito, no puede haber partes sin dimensión. Por tanto,

³⁶ *Ibid*, p.149. (Las cursivas son mías.)

³⁷ Leibniz, “*Theoria motus abstracti*” en L. Loemker, *op. cit.*, p.139. (Las cursivas son mías.)

Hay indivisibles o seres inextensos, pues de otra manera no podríamos concebir ni el comienzo ni el final de un movimiento o cuerpo.³⁸

Esto es, los 'indivisibles' son un recurso geométrico para representar el principio y el fin de un cuerpo, de un espacio, del movimiento o del tiempo".³⁹

De ahí que,

El *conatus* es al movimiento como el punto al espacio, o como el uno al infinito, pues es el comienzo y el final del movimiento.⁴⁰

Así el *conato*, que es una entidad 'indivisible', es similar a la noción de *punto* en el espacio, pero también a la de *instante* en el tiempo, cuando se lo relaciona con el movimiento.⁴¹

Termino este apartado diciendo que el concepto de *conato* que Leibniz tiene en la época que escribe la carta a Arnauld y el "Theoria motus abstracti", es un tanto ambiguo. Por una parte es una entidad matemática, por otra una idea incipiente de fuerza. Es entidad matemática porque es un 'indivisible' que marca el principio y el fin del movimiento; es fuerza externa (de tipo mecanicista) porque es lo que causa el movimiento cuando los cuerpos se presionan entre sí; pero también es una fuerza interna cuando un cuerpo "lucha" por ocupar el lugar de otro. Por otra parte, pero esto exclusivamente en la carta a Arnauld, es claramente una entidad espiritual, pues el pensamiento está constituido de *conatos*.

³⁸ "Theoria motus abstracti", *op. cit.*, p.140

³⁹ Para estas afirmaciones ver obra citada, p.140.

⁴⁰ "Theoria motus abstracti", *op. cit.*, p.140. (Las cursivas son mías.)

⁴¹ Para estas afirmaciones ver obra citada, p. 140.

En lo subsiguiente Leibniz conservará las nociones de *conatus* y de 'indivisibles', sólo que las delimitará un poco más. Los 'indivisibles' devendrán en las "cantidades infinitamente pequeñas" de sus cálculos diferencial e integral,⁴² y estos cálculos serán el instrumento de su *dinámica*, en la etapa de madurez. Los *conatos*, por su parte, se convertirán en la *vis mortua* o *solicitatio* a partir de su *Specimen Dynamicum* en 1695.⁴³

7.3.1 Los 'principios activos' leibnizianos

En los escritos de su etapa de madurez tardía es cuando Leibniz explícitamente introduce la idea de que hay *fuerzas inherentes a los cuerpos*. Para presentar este tema tomo como guía el *Specimen Dynamicum* y el *De naturae misma, o sobre las fuerzas inherentes y acciones de las cosas creadas* (1698). Leibniz comienza la redacción del *Specimen* de la siguiente manera:

Desde que mencionamos por primera vez *una nueva ciencia de la dinámica*, la cual todavía se había de fundar, muchos hombres prominentes de varios lugares han solicitado una explicación más amplia de ella (...) Hemos sugerido en otra parte, que hay algo además de la extensión en las cosas corpóreas; de hecho hay algo que es anterior a la extensión, a saber, una fuerza natural, implantada en todas partes por el Autor de la naturaleza (...) Pero no se la podemos adjudicar a Dios por algún milagro; es ciertamente necesario que esta fuerza sea producida por

⁴² Una exposición de esto se encuentra en Leibniz, *Historia et origo calculi differentialis* (1714). (Ver R. Cantoral y R. M. Farfán, *Desarrollo conceptual del cálculo*, Thompson, México, 2004, p.92.)

⁴³ Para estas afirmaciones ver Leibniz, *Specimen Dynamicum* en L. Loemker, *op. cit.*, p.438.

*Él dentro de los cuerpos. De hecho, debe constituir la parte más íntima de la naturaleza del cuerpo.*⁴⁴

Esto es, la *fuera* es inmanente a la materia, pero además lógicamente anterior a la extensión. Dicho de otra manera, es una entidad metafísica, en este estadio de los escritos de Leibniz.

Esta *fuera*, a su vez, se manifiesta algunas veces de manera fenoménica, v.g. cuando un cuerpo choca con otro, y se percibe que el segundo cambia su cantidad de movimiento.

Esta lucha o esfuerzo [*conatus seu nisus*] algunas veces se manifiesta a los sentidos, y soy de la opinión que se entiende de manera racional, como presente en todas partes en la materia, aun donde no se manifiesta a los sentidos.⁴⁵

Un dato interesante aquí es que para Leibniz la *fuera* no es una “facultad simple” como la de los Escolásticos, según dice. La *fuera* a la que se refiere es una que además de ser un ímpeto (empuje), está provista de una “lucha” o “esfuerzo”.⁴⁶ Por otra parte, la *fuera* no es un *conato* en sí, sino que los contiene.

Ahora bien, no obstante que la *fuera* está ínsita en los cuerpos y que contiene *conatos*, no ejerce su acción sino hasta que un cuerpo en movimiento colisiona con otro(s).

⁴⁴ Leibniz, *Specimen Dynamicum* en L. Loemker, *op. cit.*, p.435. (Las cursivas son mías.) Desde su carta a Thomasius, -se ha visto- Leibniz estipula que se necesita algo más que la mera extensión para dar cuenta de las propiedades corporales.

⁴⁵ *Ibid*, p.435. (Las cursivas son mías.) (Veáse asimismo *On Nature Itself, or the Inherent Force and Actions of Created Things* en L. Loemker, *op. cit.*, p.501.)

⁴⁶ Para estas afirmaciones ver *Specimen Dynamicum, op. cit.*, p.435.

*Está de más mostrar que toda acción corpórea surge del movimiento y que el movimiento mismo proviene sólo de otro movimiento, que ya existe en el móvil o que le es impreso desde fuera.*⁴⁷

De no ser así, a nivel fenoménico se percibirían cambios contrarios a la naturaleza misma de las cosas, como que un cuerpo empezara a moverse sin ser colisionado o que un cuerpo colisionado no cambiara su cantidad de movimiento. Además, el movimiento *per se* no tiene realidad ontológica (al igual que en la carta a Thomasius):

*El movimiento [como el tiempo] tomado en un sentido exacto nunca existe, porque un todo no existe si no tiene partes que coexistan. Por tanto, no hay nada real en el movimiento mismo excepto el estado momentáneo, que debe consistir en una fuerza que lucha por el cambio. Cualquier cosa que haya en la naturaleza corporal además del objeto de la geometría, o la extensión, debe ser reducida a esta fuerza.*⁴⁸

Después de que Leibniz presenta estos rasgos de la *fuerza* a manera de planteamiento general, procede a hacer una puntualización de ella. Para esto comienza estableciendo una división entre *fuerzas activas* y *pasivas*. La descripción de la *fuerza activa* es la siguiente:

*La fuerza activa, que bien puede ser llamada poder, como algunos lo hacen, es de dos tipos. La primera es la fuerza primitiva, que está en toda sustancia corpórea como tal (...) La segunda es la fuerza derivativa, que se ejerce de varias maneras a través de una limitación de la fuerza primitiva.*⁴⁹

⁴⁷Leibniz, *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, pp.435-436. (Las cursivas son mías.) (Veáse asimismo *On Nature Itself...*, *op. cit.*, p.503.)

⁴⁸ *Ibid*, p.436. (Las cursivas son mías.)

⁴⁹ *Ibid*, p.436. (Las cursivas son mías.)

La *fuerza activa primitiva* es una *forma sustancial (o alma)*; es también lo que Leibniz llama, *entelequia primera*. Al ser una *entelequia primera* es lo que permanece en el cuerpo a lo largo del tiempo.⁵⁰ La *fuerza activa derivativa*, por su parte, es la que resulta del “conflicto entre cuerpos”. La explicación Leibniz de este segundo tipo de fuerza, i.e. la *activa derivativa*, es un tanto análoga a la que Newton da sobre que la *vis inertiae*, puede considerarse como *ímpetu*, esto es, cuando “el cuerpo sin ceder fácilmente a la *fuerza impresa* por otro, se esfuerza por cambiar el estado de ese otro”.⁵¹

Sobre la *fuerza pasiva* Leibniz dice:

La *fuerza pasiva* es asimismo de dos tipos: *primitiva* y *derivativa*. La *fuerza primitiva* de *sufrimiento* o *resistencia* consiste en lo que los Escolásticos llaman *materia prima*, si se les interpreta correctamente (...) La *fuerza derivativa* o de *sufrimiento* [es resultado de la pasiva primitiva] y se manifiesta de varias maneras en la *materia segunda*.⁵²

La *fuerza pasiva primitiva* es por la que un cuerpo es impenetrable; asimismo por esta fuerza es que el cuerpo muestra una cierta “pereza”, o rechazo al movimiento. La *fuerza pasiva derivativa* es la inercia de los cuerpos, en sentido estricto, i.e, en la que se contempla no sólo la impenetrabilidad y la resistencia, sino asimismo la cantidad de materia [*molis*]. Haciendo nuevamente la

⁵⁰ Ver Russell, *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz*, George Allen & Unwin, Northampton, 1964, p.96. (Para esta afirmación Russell se basa en Gerhardt III 457.)

⁵¹ Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Def. III, op. cit., p.28.

⁵² Leibniz, *Specimen Dynamicum*, op. cit., p.437. (Las cursivas son mías.)

comparación con Newton, esta *fuerza* sería la parte de la *vis inertiae* que podría considerarse como *resistencia*.⁵³

En suma, para Leibniz, las *fuerzas primitivas* (i.e la *entelequia primera* o *forma sustancial* y la *impenetrabilidad*) son principios de acción mientras que las *derivativas* (lo que por analogía serían el ímpetu y la resistencia newtonianas) son tendencias, y están conectadas con el movimiento (local). De ahí que estas últimas sean aquellas por las cuales los cuerpos actúan entre ellos.⁵⁴ De cómo se origina el movimiento Leibniz dice:

Tal como el cálculo del movimiento llevado a cabo en un tiempo es integrado a partir de un número infinito de *ímpetos*, de la misma manera el *ímpetus* mismo (no obstante que es una cosa momentánea) surge de una sucesión de un número infinito de impactos en el mismo móvil; *de modo que [el movimiento] también contiene un cierto elemento a partir del cual puede surgir sólo a partir de infinitas repeticiones*.⁵⁵

El elemento al que se refiere Leibniz, es lo que llama *solicitudión*, y es lo que poco más abajo define como la *fuerza muerta* o *vis mortua*. A esta fuerza la denomina como muerta porque en ella no existe el movimiento, sino tan sólo como una tendencia: De cualquier manera, define otro tipo de fuerza, la *vis viva* o fuerza de movimiento, la cual surge de un número infinito de impresiones repetidas de *fuerzas muertas*.⁵⁶

Un ejemplo de la diferencia entre *vis viva* y *mortua* que Leibniz da es el de un resorte tensado. En este caso, cuando soltamos el resorte y éste empieza a retomar su forma original, lo hace a partir de una repetición de *fuerzas muertas*;

⁵³ Ver Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, *op. cit.*, p.28.

⁵⁴ Para estas afirmaciones ver *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, p.437.

⁵⁵ Leibniz, *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, p.437. (Las cursivas son mías.)

⁵⁶ Para estas afirmaciones ver *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, p.437.

esta repetición continuada (i.e, en el transcurso del tiempo) de *fuerzas muertas* se convierte en una *fuerza viva*, tanto que vemos un cambio (movimiento) en el resorte.

Ahora bien, es importante hacer ver una paradoja que resulta de la descripción que Leibniz hace de estas *fuerzas*. Según él, la *vis mortua* o sollicitación es una entidad matemática, y dice que no pretende que se pueda encontrar en la naturaleza sino que sólo sirve para hacer cálculos abstractos. La *vis viva*, sin embargo, parece tener realidad ontológica, pues afirma que debido a ella los cuerpos interactúan unos con otros. Pero además, constituye la *fuerza* que sí se conserva en todos los casos.⁵⁷ Lo que parece estar detrás de esta paradoja es una de las soluciones que Leibniz intentó dar a la extensión cartesiana. En este caso particular, la explicación de la extensión material a partir de su idea de *conatus*. Desde 1671, cuando relaciona los *conatos* con el estudio de la geometría, en la *Hypothesis physica nova* y la carta a Arnauld, hace de éstos entidades inextensas, esto es, recursos matemáticos. De ahí que la extensión no será más algo concreto sino abstracto, como él mismo lo expresa en 1679 en un diálogo dirigido contra Malebranche (1638-1715).⁵⁸ En todo caso, en su carta a Arnauld había añadido algo más acerca de los *conatos*: que conforman tanto el movimiento como el pensamiento. Así, la extensión, que resultaba ser tan sólo una abstracción en virtud de estar constituida por *conatos* –entendidos éstos como ‘indivisibles’-, adquiere un componente real debido a los mismos *conatos* –al considerarlos como entidades de naturaleza espiritual, indestructible-. La relación intrínseca

⁵⁷ Para estas afirmaciones ver *Specimen Dynamicum*, *op. cit.*, pp.438-439. La cuestión sobre la fuerza que se conserva se vio en primera parte de este trabajo, en las secciones 3 y 4.

⁵⁸ Para esta última afirmación ver Russell, *op. cit.*, p.102. (Russell se basa en G. VI 582-4.)

entre estas dos modalidades de *conato* se aprecia más claramente una vez que Leibniz concibe su idea de *mónada*.

Antes de terminar este periplo de la *fuerza leibniziana*, presento una última cuestión interesante acerca de este periodo de los escritos de madurez de Leibniz: la inserción del concepto de *mónada* a este tipo de discusiones sobre filosofía natural.⁵⁹

Reiterando por enésima vez la necesidad de concluir que en los cuerpos se debe encontrar una *primera entelequia* añadida a la extensión –lo meramente geométrico-, o a la masa –lo que es meramente material-, para dar cuenta de su acción y movimiento, Leibniz agrega en su *De la naturaleza misma...*, lo siguiente:

Este principio sustancial mismo, que es llamado *alma* en los seres vivos y *forma sustancial* en otros seres, y considerando que esto verdaderamente constituye una sustancia con la *materia*, o una unidad en sí misma, conforma lo que llamo *mónada*.⁶⁰

La incursión de las *mónadas* modificará nuevamente la naturaleza de la materia y, por consiguiente de la fuerza. Como se puede apreciar en esta última cita, Leibniz ya no se refiere al *alma* o la *forma sustancial* como una fuerza (activa primitiva) inserta en la materia (si bien esta última era una abstracción), sino que de éstas dos hace surgir una unidad.

Posteriormente, en una carta de 1704 a Buchard De Volder (1643-1704), Leibniz reconsidera la cuestión y manifiesta que, la *materia (prima)*, la cual

⁵⁹ Para estas afirmaciones ver L. Loemker en *Philosophical Papers and Letters*, *op. cit.*, p.508.

⁶⁰ Leibniz, *On Nature Itself...*, *op. cit.*, pp.503-504. (Las cursivas son mías.)

hasta entonces parecía tener su estatus no obstante haberse convertido en algo ideal, era un fenómeno como cualquier otro:

*La materia o la masa extensa no es más que un fenómeno fundado en cosas, como el arcoíris o el parhelio, y toda la realidad pertenece sólo a las unidades (...). De hecho las unidades sustanciales no son sino los cimientos de los fenómenos.*⁶¹

Poco después, en 1706, Leibniz le escribe al teólogo Bartholomeus Des Bosses acerca de que las *fuerzas derivativas* son también fenómenos:

*De una multiplicidad de mónadas resulta la materia segunda, junto con las fuerzas derivativas, acciones y pasiones, que sólo son entidades a través de la agregación y, por tanto, semi-mentales, como el arcoíris y otros fenómenos bien fundados.*⁶²

Así las *fuerzas*, tanto *pasiva primitiva* como las *derivativas* que en el *Specimen* eran de lo poco que restaba con realidad ontológica, son también relegadas desde este tiempo al mundo de las apariencias. De ahí que la única *fuerza* que pervivirá es la *activa primitiva*, esto es, la *entelequia primera* o *forma sustancial*.⁶³

⁶¹ "Correspondence with De Volder" en L. Loemker, *op. cit.*, p.536. (Las cursivas son mías.) Es interesante señalar que en esta misiva Leibniz hace alusión a un concepto relacional del espacio pero asimismo del tiempo (p.536). Ahora bien, de acuerdo con Garber, Leibniz había negado que el espacio tuviera una realidad independiente antes de este escrito. Un ejemplo de ello es una réplica a las objeciones de Simon de Foucher, canónigo de Dijon (1644-1696) a su *Nuevo sistema de la naturaleza* (1695). (Ver "Leibniz: physics and philosophy", *op. cit.*, p.302.)

⁶² Carta de Leibniz a Des Bosses de 1706, citada en Garber, "Leibniz: physics and philosophy", *op. cit.*, p.297.

⁶³ En la parte final de este trabajo, en el *apéndice 4*, propongo un esquema de las transformaciones que tuvo la noción de *fuerza leibniziana*. Asimismo, en ese lugar, presento un cuadro comparativo del *estatus ontológico de las fuerzas* de Descartes, Newton y Leibniz.

Al final de todo, parece ser que lo que Leibniz tenía en mente no era desarrollar una *dinámica* que estuviera fundada en ciertos principios metafísicos, sino crear una *dinámica* que diera cuenta de su metafísica. Esto se constata nuevamente en su teoría de la *armonía preestablecida*. De acuerdo con esta teoría, en la versión de la *Monadología* (1714),⁶⁴ la *materia* en las *mónadas*, no conforma ya una unidad sustancial con la *entelequia primera*. Esto no sorprende tanto, pues antes ya había hecho de ella una abstracción y luego un fenómeno.

Podría darse el nombre de *entelequia* a todas las *sustancias simples* o *mónadas creadas*, pues tienen en sí mismas cierta perfección, y hay en ellas una suficiencia que las hace fuente de sus acciones internas y, por decirlo así, *autómatas incorpóreos*.⁶⁵

Sin embargo, si esto no hubiera sido suficiente, las *mónadas*, tampoco interactúan entre sí, sino a través de un orden establecido de antemano por Dios.

La *mónada*, de que vamos a hablar en este tratado, no es sino una sustancia simple, que entra a formar los compuestos; simple quiere decir sin partes. Tiene que haber sustancias simples puesto que hay compuestas; pues lo compuesto no es más que un montón o *aggregatum* de simples. Ahora bien, donde no hay partes, no puede haber ni extensión, ni figura ni divisibilidad. Y tales *mónadas* son los verdaderos Átomos de la

⁶⁴ El título *Monadología* para este texto no es de Leibniz, sino que el nombre proviene de una edición alemana de 1720: *Lerhrsätze über die Monadologie*. En todo caso, la primera publicación del original en francés fue en 1840. (Ver Francisco Larroyo en su *Análisis de la Monadología*, Porrúa, México, 1977, pp.385-387).

⁶⁵ Leibniz, *Monadología*, *op. cit.*, p.391. (Las cursivas son mías.)

Naturaleza y, en una palabra, *los Elementos de las cosas (...)* Una mónada sobre otra no puede tener efecto a no ser por la intervención de Dios.⁶⁶

De esto resulta algo desconcertante nuevamente: los eventos de la naturaleza, que en las cartas a De Volder y a Des Bosses parecían ser fenómenos directamente fundados en las *mónadas*, ahora resulta que ni siquiera están cimentados en ellas, sino en Dios.

Dios, comparando las sustancias simples, halla en cada una de ellas razones que le obligan a acomodar la otra a la primera; y por consiguiente, lo que en ciertos respectos es *activo*, es *pasivo* visto desde otro punto de vista (...) Y los compuestos simbolizan o se conforman con los simples: *Pues como todo es lleno, lo cual hace que la materia esté trabada toda, y como, además, en lo lleno todo movimiento produce un efecto en los cuerpos distantes, según la distancia, de suerte que un cuerpo no sólo es afectado por los que le tocan y no sólo se resiente en cierto modo de lo que a éstos sucede, sino que también, por medio de ellos, recibe el influjo de los que tocan a los primeros, por los cuales es inmediatamente tocado, se sigue que esta comunicación se transmite a cualquier distancia. Y, por consiguiente, todo cuerpo resiente los efectos de cuanto pasa en el universo, de tal modo, que aquel que todo lo ve podría leer en uno lo que en todos sucede y aun lo que ha sucedido y sucederá, advirtiendo en el presente lo lejano, tanto en los tiempos como en los lugares.*⁶⁷

Esto es, lo que percibimos en el mundo no son ni siquiera apariencias debidas a la conformación de los elementos últimos de las cosas, sino una ficción que Dios previamente elabora.⁶⁸

⁶⁶ Leibniz, *Monadología*, *op. cit.*, pp.389 y 395. (Las cursivas son mías.)

⁶⁷ Leibniz, *Monadología*, *op. cit.*, p.396. (Las cursivas son mías.)

⁶⁸ En la época que Leibniz escribe el *Discurso de Metafísica* (1686) habla de una “correspondencia y concordancia” no sólo entre el alma y el cuerpo de cada sujeto sino también entre los seres del Universo. Este principio de concordancia es lo que devendrá en su *armonía preestablecida*. De cualquier manera, en el estadio del

Para que la ficción sea evidente, remontémonos a algunos pasajes de uno de los primeros escritos leibnizianos en los que aparecen explícitamente las palabras *armonía preestablecida*. El escrito en cuestión es una réplica de 1696 al alegato de Simon de Foucher contra su *Nuevo sistema de comunicación de las sustancias*; en cualquier caso, el argumento es muy similar al que dirigirá contra el sistema newtoniano en la polémica con Clarke (1715). La teoría de la *armonía preestablecida* es presentada aquí de manera clara, además de que todavía no figuran las *mónadas*.

*Imagínese dos relojes que marchen perfectamente acordes. Esto puede conseguirse de tres maneras: La primera consiste en la influencia mutua de un reloj sobre otro; la segunda, en el cuidado de un hombre que atienda de continuo ambos relojes; la tercera, en la exactitud con la que los dos marchan.*⁶⁹

La primera manera, la llama Leibniz de la influencia; la segunda, de la asistencia y la tercera, vía del consentimiento preestablecido, i.e la *armonía preestablecida*. Con esto a la mano, tenemos los elementos para ver por qué una vez que concibe la *mónada*, primero considera que ésta está conformada de *materia* y *forma*; luego destierra la *materia* al mundo de lo fenoménico y se queda con la *forma*;⁷⁰ y por último crea su ficción.

Discurso no se aprecia esta especie de *ocasionalismo*, sino al contrario, en este texto Leibniz critica explícitamente esta tesis. (Ver obra citada, pp.28 y 32-34, párrafos 29 y 33-35.)

⁶⁹ Carta de Leibniz, publicada en el *Journal de Savants* en 1696, Porrúa, México, 1977, pp.50-51. (Las cursivas son mías.)

⁷⁰ En texto el *Nuevo sistema de la naturaleza y de la comunicación de las sustancias, así como de la unión que existe entre el alma y el cuerpo* (1695), Leibniz prefiere llamar a las *entelequias*, *fuerzas primitivas*; posteriormente las nombra nuevamente entelequias, y son -como se ha visto- son las únicas entidades que sobreviven a todos los avatares. (Ver obra citada, párrafo 3.)

Póngase ahora el alma y el cuerpo en el lugar de los dos relojes. Su acuerdo o simpatía sucederá por una de esas tres maneras. La *vía de influencia* es la de la filosofía vulgar; más no pudiendo concebirse partículas materiales ni especies ni cualidades inmateriales que puedan pasar de una a otra de las dos sustancias, es fuerza abandonar esta opinión.⁷¹

Aquí lo que claramente se ve es el problema de la comunicación entre sustancias de distinta naturaleza, que tanto problema suscitaba a los filósofos de la modernidad. Por ello, quizá Leibniz reconsidera dejarle a la *mónada* el componente material que en un momento le otorga.

La *vía de la asistencia* es la del sistema de las causas ocasionales; pero sostengo que es acudir a un *Deus ex machina* en cosa natural y ordinaria, en la cual, según la razón, no debe Dios intervenir sino de la misma manera como concurre a las demás cosas de la naturaleza.⁷²

Ésta es claramente la crítica que dirigirá más tarde de manera expresa al sistema newtoniano. Para Leibniz, que Dios tuviera que intervenir para restaurar la 'cantidad de fuerza' en el universo como Newton suponía, era apelar a un perpetuo milagro. Según él, Dios efectuaba los milagros únicamente para las cuestiones relacionadas con la gracia.⁷³

Sólo resta, pues, mi hipótesis, es decir, la *vía de la armonía preestablecida por artificio divino previsor*, el cual desde un principio ha formado cada una de ambas sustancias de manera tan perfecta y tan bien dispuesta, con exactitud, que, sin seguir otras leyes que las que ha recibido con el ser,

⁷¹ Carta de Leibniz, publicada en el *Journal de Savants* en 1696, *op. cit.*, p.51. (Las cursivas son mías.)

⁷² *Ibid*, p.51. (Las cursivas son mías.)

⁷³ Ver el apartado 6.1.1 de este trabajo.

concuerta siempre con la otra, *como si hubiera influjo mutuo, o como si Dios pusiera de continuo su mano, además de su concurso general.*⁷⁴

De aquí se deduce que como las sustancias material y formal son distintas en naturaleza, Leibniz creía que la única manera de dar cuenta de su coexistencia en el mundo era suponerlas como si fuesen los dos relojes de los que habla, los cuales dan la misma hora porque de antemano están sincronizados y, aunque cada uno sigue su propio tiempo se ve que coinciden. Puestas así las cosas, parece que Leibniz no tenía razones legítimas para criticar al *ocasionalismo*, ni lo que le parecía que tenía tintes de ello, como es el sistema newtoniano. Tampoco parece que las tuviera para objetarle a Descartes que la *fuerza de movimiento* (*vis viva* en el *Specimen*) era la que se conservaba y no la *cantidad de movimiento* que Dios puso en el mundo desde un inicio, pues la *fuerza* a la que Leibniz se refiere no dista mucho de ser Dios mismo. Un pasaje del *Nuevo sistema de la naturaleza* (1695) avala esta afirmación:

Ya sabéis que Descartes ha creído que se conserva en los cuerpos la misma cantidad de movimiento. Se ha demostrado su error; pero yo he explicado que es cierto que se conserva siempre la misma fuerza motriz, que él había confundido con la cantidad de movimiento. Sin embargo, *los cambios que se verifican en el cuerpo, como consecuencia de las modificaciones del alma, le desazonaron*, porque parecían violar esa ley. *Creyó salir del paso ingeniosamente diciendo que hay que distinguir entre el movimiento y la dirección, y que el alma no puede aumentar ni disminuir la fuerza motriz, pero sí cambiar la dirección del curso de los espíritus animales, y que así suceden los movimientos voluntarios. Cierto que no se*

⁷⁴ Carta de Leibniz, publicada en el *Journal de Savants* en 1696, *op. cit.*, p.51. (Las cursivas son mías.)

*metió a explicar cómo el alma se las arregla para cambiar el curso de los cuerpos, siendo este cambio tan inconcebible como la afirmación que les da movimiento, a menos que, conmigo, no se recurra a la armonía preestablecida.*⁷⁵

Por tanto, a Leibniz se le podría presentar el mismo dilema que él mismo le impuso a Newton en la *controversia* por intermedio de Clarke: o Dios es una divinidad *ex machina*, o es el *Anima Mundi*.⁷⁶ Esto es, sobre la base de la *armonía preestablecida*, Dios interviene directamente en el curso del mundo o Dios es el curso del mundo.

⁷⁵ Leibniz, *Nuevo sistema de la naturaleza*, Porrúa, México, 1977, p.50. (Las cursivas son mías.) Lo que Leibniz le critica a Descartes, en este caso, es que concibiera que se puede dar una relación causal entre el alma y el cuerpo al ser sustancias de distinta naturaleza. Descartes creía que la interrelación de éstas se daba en una región muy pequeña del cerebro, de acuerdo a como lo expresa en la sexta meditación de las *Meditaciones* (1641). La <pequeña parte del cerebro> será la glándula (pineal) en *Las pasiones del alma* (1649) y en *El tratado del hombre* (1662).

⁷⁶ Ver nuevamente el apartado 6.1.1 de este trabajo.

Conclusiones:

The historian attempts to overcome uncertainty by comparison of texts, and by taking into account the picture, constructed from literature, of the cultural stock of the epoch in question. The scientist of the present, however, is not primarily trained or orientated as a historian; he is not capable of forming nor willing to form his views on the origin of the fundamental concepts in this manner. He is more inclined to allow his view on the manner in which the relevant concepts might have been formed, to arise intuitively from his rudimentary knowledge of the achievements of science in the different epochs of history. He will, however, be grateful to the historian if the latter can convincingly correct such views of purely intuitive origin.¹

Albert Einstein

A lo largo de este trabajo se han presentado dos niveles en los que se puede abordar el estudio del desarrollo de la noción de *fuera* en las filosofías naturales de Descartes, Newton y Leibniz: uno físico y otro metafísico. Con base en este esquema, se ha mostrado que en el nivel físico-matemático parecía haber, después de todo, un consenso sobre el significado de la *fuera*, si se ve la cuestión desde la perspectiva de D'Alembert. Según este autor, las polémicas sobre el tema eran sólo disputas de palabras, y lo decía con el ánimo de hacer notar que en lo concerniente a los principios fundamentales del equilibrio y el movimiento, los adversarios estaban enteramente de acuerdo.²

¹ Prólogo de Einstein a *Concepts of Space* de M. Jammer, Dover Publications, Nueva York, 1993, p.XIV.

² Prefacio al *Traité de Dynamique*, *op. cit.*, p.XXIII. D'Alembert decía esto a propósito de la discusión sobre las *fuera vivas*; sin embargo hay que recordar que detrás de esto estaba la cuestión más general acerca de bajo qué parámetros se había de 'medir la fuerza'.

No resulta lo mismo en el nivel metafísico, pues en este ámbito es evidente que cada uno tenía una manera particular de explicar lo que suponía subyace al movimiento.

En estas *Conclusiones* hago la recapitulación de las tesis medulares de este trabajo. Para ello, presento las proposiciones de Descartes, Newton y Leibniz que permiten ver cómo en el fondo sus teorías no distan mucho entre sí en el nivel físico. Asimismo, menciono algunos aspectos metafísico-teológicos donde estas teorías sí se muestran incompatibles. Por último, presento unas reflexiones acerca de lo que sucedió finalmente con el concepto de *fuerza*. Estas reflexiones plantean una línea de investigación que en lo personal considero interesante continuar en el futuro.

* * *

En los siglos XVII y XVIII había dos cuestiones centrales para los filósofos naturales: entender cómo se da el movimiento y equilibrio de los cuerpos, y si en el paso del reposo al movimiento (y viceversa) se conserva algo. Descartes, Newton y Leibniz, por consiguiente, dedicaron buena parte de sus vidas a estudiar las condiciones bajo las cuales los cuerpos cambian de estado mecánico. Los tres llegaron a la conclusión que estos cambios se deben a una 'fuerza', sólo que debajo de esta idea compartida había un supuesto diferente para cada uno. En líneas generales, Descartes introdujo el concepto de que hay una 'cantidad (física)' en la naturaleza que se conserva; Newton, que esta 'cantidad' cambia en un cuerpo si se le aplica una *fuerza* por un tiempo; Leibniz hizo ver que esta 'cantidad' coadyuva a que un móvil produzca un resultado mecánico (sea éste el desplazamiento de un cuerpo con el que el móvil colisiona y/o su deformación). Ahora bien, estos supuestos que subyacen a la

noción de *fuera* –no obstante ser distintos- tienen en común las ideas de ‘conservación’ y de ‘cantidad de movimiento’. Lo anterior es importante porque, visto desde la física (clásica), estas ideas están concatenadas: la ‘cantidad de movimiento’ que concibió Descartes se conserva cuando no hay *fuerzas externas*. Las *fuerzas externas* son las que postuló Newton, y son la *causa* del cambio en la cantidad de movimiento. Por último, existe una especie de ‘fuerza’ que vislumbró Leibniz, que se conserva en los cuerpos que se mueven. Esta ‘fuerza motriz’ de los móviles hace que tengan un *efecto* sobre otros cuerpos.³ Así, los supuestos sobre los que se fundó la noción de *fuera*, aunque diversos, finalmente son equivalentes. Esto, por otra parte, permite ver por qué D’Alembert afirmó que la disputa sobre la *fuera* no tenía sentido desde el punto de vista físico.

Los problemas con la noción de *fuera* surgen, sin embargo, cuando se toman en consideración los supuestos metafísico-teológicos sobre los que se funda este concepto de acuerdo con nuestros autores. Descartes concibió que, como Dios es inmutable, Sus acciones asimismo debían serlo. Dicho de otro modo, una vez que Dios produce el movimiento en el mundo, se conserva siempre la misma cantidad. Newton, al darse cuenta de que, en virtud de las múltiples perturbaciones entre planetas, ni la ‘cantidad de movimiento’ ni la ‘fuerza’ totales se podrían conservar, postuló que Dios necesariamente tendría que intervenir para restablecer el orden en el Sistema Solar. Leibniz, por su parte, no quería hacer participar a Dios en Su obra, una vez creada; así pensó que Dios hubo de establecer un orden completo de antemano. Estos supuestos

³ Desde 1686, Leibniz denominó ‘fuerza motriz’ a lo que actualmente se establece que es el doble de la *energía cinética*, i.e de la energía de movimiento de un cuerpo. En 1695, el nombre de ‘fuerza motriz’ lo cambia por el de *vis viva*, pero sólo para el *Specimen Dynamicum*.

metafísicos fueron ocasión de las diversas disputas sobre la noción de fuerza, pues de ellos se derivaba el conflicto sobre si el sistema del mundo se contenía a sí mismo o no,⁴ pero además conducían a una cuestión teológica fundamental: si Dios es *Potentia Absoluta* u *Ordinata*, i.e. si Su acción es incondicionada y, por consiguiente, ilimitada, o por el contrario: en el mundo no sucede nada que se halle fuera de las reglas que Él mismo le impone. En todo caso, la presencia del poder de Dios en el mundo, paulatinamente, se fue difuminando y las ideas de ‘conservación’ de ‘cantidad de movimiento’ y, por consiguiente, de ‘fuerza’ empezaron a verse desposeídas de su carácter metafísico-teológico.

La historia de lo acontecido a los ‘principios activos’ es similar. En un inicio, los ‘principios’ de Newton fueron considerados un recurso ‘ininteligible’ y, por consiguiente, inadecuado para explicar fenómenos en los que las fuerzas de tipo mecánico parecían no ser suficientes. Los de Leibniz, por su parte, conducían a que los cuerpos fueran presumiblemente inateriales. Posteriormente, estos ‘principios activos’ se les despojó de su carácter metafísico y perdieron así su condición de causas ‘ocultas’; si bien hay un rasgo de ellos que aparentemente pervivió: su inmaterialidad.

¿Qué le sucedió entonces a la noción de fuerza? La ‘fuerza’ se transformó en un concepto netamente físico y dio origen a otros conceptos básicos, entre ellos el *principio de D’Alembert* que vimos anteriormente. Al respecto, cabe mencionar que Euler, contemporáneo de D’Alembert, fue de los últimos

⁴ En la física de nuestros días, esta pregunta se establecería en términos de hasta qué punto un sistema físico que se pueda considerar cerrado sea estable. Por ejemplo, el Sistema Solar a muy largo plazo podría exhibir un comportamiento caótico.

filósofos naturales que se resistieron a ver la *fuerza* desde una posición netamente instrumentalista.⁵

Actualmente, "... la *fuerza* se ha desvanecido en la física moderna; primero fue sustituida por el concepto de *energía* y luego por el de *campo*, y finalmente desapareció de las dos teorías fundamentales del siglo XX: la relatividad y la mecánica cuántica".⁶ Hoy en día, los físicos prefieren hablar en términos de materia y *campo*, donde el campo podría entenderse como el componente inmaterial de la naturaleza.⁷

Ahora bien, si desde la perspectiva de la física moderna, el concepto de 'fuerza' está "visiblemente ausente", como dice Frank Wilczek en un artículo reciente,⁸ ¿por qué nos es tan difícil dejar de referirnos al mundo en términos de 'fuerza'?⁹ La respuesta está quizá en algo que Russell señala en su *ABC de la Relatividad*: "la rescisión de la *fuerza* parece estar relacionada con sustituir la vista por el tacto como origen de nuestras ideas físicas".¹⁰ De ahí que sea difícil cambiar nuestra concepción del mundo; hacerlo tal vez tendría como resultado lo que Russell asimismo comenta en este texto:

⁵ Ver *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, op. cit. y *Recherches sur l'origine des forces* (math.dartmouth.edu/~euler/ -2005-).

⁶ S. Hacyan, "¿Y dónde está la fuerza en la física moderna?" en L. Benítez, J. A. Robles y A. Velázquez (coords.), *Fuerzas y dinámica: de la metafísica a la física*, UNAM-FES, México, 2007, p.265. (Las cursivas son mías.)

⁷ Específicamente, los físicos hablan de fermiones, partículas propias de la materia, y bosones, partículas propias de las interacciones entre las primeras. Los fermiones obedecen al principio de exclusión de Pauli (1900-1958), en virtud del cual la materia es impenetrable.

⁸ "Whence the Force of $F = ma$? I: Culture Shock", *Physics Today*, vol. 10, 2004, pp. 10-11. F. Wilczek obtuvo el Premio Nobel de Física en 2003 por sus trabajos sobre partículas elementales, en específico, de las "fuerzas" entre los quarks.

⁹ En este punto es conveniente señalar que la noción de fuerza a la que se refieren los físicos modernos que presento es la newtoniana. Como se vio en el capítulo 4, la intuición de 'medida de la fuerza' que se consideró correcta en la física clásica es ésta.

¹⁰ "The abolition of *force* seems to be connected with the substitution of sight for touch as the source of physical ideas". (B. Russell, *ABC of Relativity*, Unwin, Londres, 1977 (1925).), p.139. (Las cursivas son mías.)

Si la gente tuviera que aprender a concebir el mundo de la nueva manera, sin la vieja noción de *fuerza*, se alteraría no sólo su imaginación de lo físico, sino probablemente también su moral y su política. El efecto de esto último sería muy ilógico, pero de cualquier manera es probable.¹¹

La relevancia de este relato de Russell es que hace ver cómo la noción de fuerza forma parte de nuestra cultura. Wilczek pone de manifiesto algo parecido:

Cuando era estudiante, la materia que me dio mayor trabajo fue la *mecánica clásica*. Ello siempre se me hizo peculiar, pues no tenía ningún problema para aprender temas más avanzados, que se suponía eran más difíciles. Ahora creo que ya descubrí por qué. Era un caso de choque cultural. Viniendo de las matemáticas, esperaba un algoritmo. En vez de eso encontré algo muy diferente: un tipo de cultura (...) Cuando aprendemos *mecánica*, tenemos que ver muchos ejemplos para captar correctamente lo que la *fuerza* significa. No es sólo cuestión de construir una habilidad a partir de la práctica; sino que absorbemos una cultura tácita de trabajar supuestos. No darme cuenta de esto fue lo que me puso en problemas.¹²

Que el concepto de fuerza esté inmerso en nuestra cultura resulta un tanto paradójico: es muy útil para hacer muchas cosas, como construir puentes o enviar naves espaciales; sin embargo, la fuerza *per se* no es algo tangible. Al

¹¹ "If people were to learn to conceive the world in the new way, without the old notion of *force*, it would alter not only their physical imagination, but probably also their morals and politics. The latter effect would be quite illogical, but is none the less probable on that account". (Russell, *op. cit.*, p138.) (Las cursivas son mías.)

¹² "When I was a student, the subject that gave me the most trouble was *classical mechanics*. That always struck me as peculiar, because I had no trouble learning more advanced subjects, which were supposed to be harder. Now I think I've figured it out. It was a case of cultural shock. Coming from mathematics, I was expecting an algorithm. Instead I encountered something quite different –a sort of culture, in fact (...) When we learn *mechanics*, we have to see lots of worked examples to grasp properly what *force* really means. It is not just a matter of building up skill by practice; rather we are imbibing a tacit culture of working assumptions. Failure to appreciate this was what got me in trouble". (Wilczek, *op. cit.*) (Las cursivas son mías.)

especificar una *fuerza* para determinar la trayectoria de una nave, o viceversa, dado el movimiento de la nave encontrar la *fuerza* que la impulsa, lo que se resuelve no es un problema de física sino un ejercicio con ecuaciones diferenciales y/o geometría. Con todo, esta noción sobrevive porque es más fácil trabajar con ella que con las ecuaciones de la física moderna. Es un constructo que resguarda a los físicos de detalles irrelevantes, y les permite elaborar aplicaciones relativamente sin fatiga.¹³

Por otra parte, aun cuando el concepto de fuerza no aparece en las ecuaciones fundamentales de las dos grandes teorías de la física moderna, la Relatividad y la Mecánica cuántica, mientras que el de *energía* y *momento* sí lo hacen, la *fuerza* está muy cercanamente relacionada a ellos: A grandes rasgos, la *fuerza* es el cambio de la *energía* respecto al espacio (distancia) y también es el cambio del *momento* con respecto al tiempo. De ahí que, dice Wilczek:

El concepto de *fuerza* no está tan alejado de nuestros fundamentos modernos (...) Puede que sea injustificado, pero no bizarro. Sin cambiar el contenido de la mecánica clásica, la amoldamos a los términos lagrangianos, donde la *fuerza* no aparece más como un concepto primario. Pero eso es realmente un tecnicismo; la pregunta más profunda permanece: ¿qué aspectos de los fundamentos [de la física] refleja la *cultura* de la *fuerza*?¹⁴

La conclusión que se puede extraer de la cuestión sobre por qué el concepto de *fuerza* forma parte de nuestra cultura –y además continúa siendo

¹³ Para esta afirmación ver Wilczek, obra citada.

¹⁴ “The concept of force is not quite removed from modern foundations (...) It may be gratuitous, but it is not bizarre. Without changing the content of classical mechanics, we can cast it in Lagrangian terms, wherein force no longer appears as a primary concept. But that’s really a technicality; the deeper questions remains: What aspects of fundamentals does the *culture* of *force* reflect”. Wilczek, *op. cit.* (Las cursivas son mías.)

presentado como uno de los fundamentos de la mecánica, cuando desde el punto de vista de los físicos la *energía* sirve, incluso mejor, es que psicológicamente tiene su función. Apelamos a la *fuerza* porque es una abstracción de la experiencia sensible de *esfuerzo*.¹⁵ Cuando levantamos un objeto pesado, percibimos que estamos aplicando una *fuerza* (externa) sobre el objeto, esto es, que nos esforzamos para poder alzarlo, no la *energía* que éste adquiere (internamente). El caso del *momento* es similar: al ver que un cuerpo cambia, por ejemplo, su estado mecánico, adjudicamos esto al efecto de una *fuerza* (externa); solamente después se piensa en el tipo de *energía* que el cuerpo adquiere: cinética, potencial, calorífica, lumínica, etc. Dicho de otra manera, la acción de aplicar una *fuerza* en un cuerpo es siempre visible, no así la *energía* que éste gana. “Razones similares –dice Wilczek- pueden dar cuenta de por qué Newton usaba la *fuerza*. Una gran parte de la explicación de su uso continuo es, no hay duda: *inercia (intelectual)*.”¹⁶

El recorrido que he hecho a través de las filosofías naturales de Descartes, Newton y Leibniz con el fin de hacer el rastreo de la evolución de la

¹⁵ En el capítulo 4: *La medida de la fuerza*, se vio que ya desde el siglo XVIII se empezaba a tener este tipo de apreciación de la *fuerza*. Maupertuis decía que dicha noción no tiene significado en el ámbito material, sino que es tan sólo la proyección de nuestro propio sentimiento de *esfuerzo*. D’Alembert evitaba en lo posible la palabra fuerza y hablaba, por tanto, de las causas del cambio de estado de un cuerpo. Voltaire, por su parte, negará que conozcamos mejor las fuerzas de impulso que las de *atracción*: “Deberíamos considerar que no conocemos mejor la causa del impulso que la de la atracción (...) pues no hay nadie que pueda concebir por qué un cuerpo tiene el poder de apartar a otro de su sitio”. *Elements de Philosophie de Newton*, II, 9, *Oeuvres complètes*, tome “Physique”, Arnand Aubrée Editeur, Paris, 1830, p.119, citado en Ana Rioja, *Leonhard Euler: Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, op. cit., p.104.

¹⁶ “Similar reasons may explain why Newton used *force*. A big part of the explanation for its continued use is no doubt (*intellectual inertia*.” (Wilczek, op. cit.) (Las cursivas son mías.) Otros artículos de Wilczek donde aparece una extensión del tema son: “Whence the Force of $F = ma$? II: Rationalizations”, *Physics Today*, vol. 12, 2004, pp. 10-11. “Whence the Force of $F = ma$? III: Cultural Diversity”, *Physics Today*, vol. 7, 2005, pp.10-11

noción de fuerza de los siglos XVII y XVIII, ha permitido ver que las diferencias teóricas (y hasta psicológicas) que tenían entre ellos no eran de fácil resolución. Por un lado, en esa época, apenas se estaban desarrollando las matemáticas que darían cuenta cabal de ella; por otro, cada uno tenía sus propios compromisos metafísico-teológicos que cumplir. En todo caso, las contribuciones de estos autores a la física moderna no hay que buscarlas en las partes de su obra donde se presentan los conflictos entre ellos, sino que siguiendo el espíritu de D'Alembert, reconocer el legado que nos dejaron.

APÉNDICE 1: Continuidad y discontinuidad en la historia de la ciencia

Como apoyo metodológico del recorrido conceptual de la ‘fuerza’ que hice en este trabajo, tomé el modelo de las *vías de reflexión filosófica* de Laura Benítez y la tesis de *revolución científica* de Alexandre Koyré. En este lugar presento un breve examen de estas herramientas historiográficas.¹⁷ La intención de este apéndice es mostrar cómo la historia de la ciencia no es continua, pero tampoco los cambios en ella son abruptos. Por otra parte, quiero hacer ver, con Koyré, que en un estudio historiográfico es necesario eliminar los propios prejuicios retrospectivos a fin de poder entender correctamente los autores que nos ocupan.

Las *vías de reflexión* de Benítez se centran en el análisis histórico de las ideas filosóficas, y la *tesis* de Koyré está encaminada a estudiar el desarrollo de las nociones científicas. Ahora bien, ambas historiografías proporcionan visiones distintas de cómo se ha dado el desarrollo de la filosofía natural: la primera plantea que hay una continuidad y la segunda una discontinuidad;¹⁸ sin embargo convergen: la historiografía de Benítez nos hace ver que las nociones científicas surgen en marcos filosóficos determinados que, en todo caso, no son excluyentes a otros; la de Koyré muestra que hay una relación indisoluble

¹⁷ Siguiendo a A. Beltrán, uso el término <historiografía> para hacer referencia a cómo debe escribirse la historia de la ciencia o de la filosofía como disciplinas, e <historia> para el desarrollo de la filosofía o la ciencia a través del tiempo (ver *Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid, 1998, p.1).

¹⁸ En este *apéndice* no trato lo concerniente a si los métodos históricos son diferentes de los filosóficos como postulaba P. Tannery (ver A. Beltrán, *op. cit.*, p.9), sino que parto del supuesto, como lo hace Benítez (y asimismo Koyré), de que la actividad filosófica como toda actividad humana es susceptible de ser historiada (ver “Consideraciones metodológicas en torno a la historia de la filosofía en el Renacimiento”, *Diánoia*, vol. 29, IIF-UNAM, México, 1983, p.95 y *Estudios de historia del pensamiento científico*, SXXI, México, 2000, pp.5-8, respectivamente).

entre las ideas de ciencia y la filosofía. Este último planteamiento ha sido relevante para mi trabajo, pues al margen de si hay rupturas o no en la consolidación del conocimiento, lo que subyace a mi investigación: el análisis de la evolución del concepto de fuerza –siguiendo la línea de Descartes, Newton y Leibniz-, es el razonamiento de que en la base del pensamiento científico siempre ha existido algún principio filosófico fundamental.¹⁹

Las vías de reflexión filosófica²⁰

¹⁹ Si el énfasis se hace en lo que concierne a si hay rupturas en la consolidación del conocimiento, se verá que la tesis de los dos autores que presento no son del todo opuestas, aun cuando parten de supuestos que sí lo son. Laura Benítez dice que “un cambio filosófico no se da abruptamente ni supone la exclusión total de todos los temas o métodos anteriores” (*Descartes y el conocimiento del mundo natural*, Porrúa, México, 2004, pp.3-4). Mientras que Koyré dice que hay conmociones filosóficas, que son las que determinan los cambios científicos (Conferencia de 1955 en *Pensar la ciencia*. Edición de Carlos Solís, Paidós, 1994, p.51). Sin embargo, se puede decir que ambos autores coinciden en que hay progreso en el conocimiento, aun cuando éste no sea del todo lineal. Es conveniente señalar que Laura Benítez no habla en términos de progreso, porque habla de que es necesario cuestionar la concepción del saber filosófico como unidimensional y unidireccional. (Ver *Descartes y el conocimiento del mundo natural*, op. cit, p.5.)

Una tesis acerca del avance en el conocimiento, que converge con las de Laura Benítez y Alexandre Koyré, es la de Oscar Nudler. La tesis de Nudler se centra en la cuestión del progreso en la filosofía, y de acuerdo con él, este progreso está acotado a ciertos <campos> de la filosofía, a diferencia del progreso de la ciencia que es integral, “*malgré* algunos excesos absurdos de los amantes de la inconmensurabilidad”. Los <campos> de los que habla Nudler los llama <controversiales>. Ellos son el conjunto de controversias filosóficas interrelacionadas, i.e. de disputas en torno a cómo abordar determinados problemas ontológicos, epistemológicos, éticos, etc. Debido a que hay diferentes tipos de <controversias>, hay asimismo diferentes valores, especialmente epistémicos, a la base de cada una de ellas, lo que hace que las controversias no sean dirimibles mediante el sólo recurso de la argumentación lógica. De ahí que en la filosofía sólo se pueda aspirar al progreso en <campos controversiales> específicos. (Ver O. Nudler, “¿Progreso en filosofía? en *Filosofía natural y filosofía moral en la modernidad*, UNAM, México, 2003, pp.21-23.)

²⁰ Para la presentación de las *vías de reflexión* de Laura Benítez considero dos de sus textos, el libro *Descartes y el conocimiento del mundo natural*, obra citada, donde hace la exposición de su modelo explicativo *in extenso*; y el artículo “Percepción sensible y

De acuerdo con Benítez, las *vías de reflexión* son un modelo que permite dar cuenta tanto de la permanencia como del cambio en el desarrollo de la filosofía.²¹

Para ver cómo se da la continuidad filosófica en este modelo, al que Benítez denomina asimismo teórico, se lo puede describir como una <red de carreteras> en la que las vías reflexivas de la cultura filosófica no se excluyen, sino que coexisten y se conectan entre sí.²² Esto es, puede haber vías que en determinado momento histórico sean muy <socorridas> y, que por consiguiente, muchos filósofos las <transiten>; pero puede haber otras, que a la par acusen diversas tendencias o modalidades. Esas vías, aun cuando en general sean <menos frecuentadas>, pueden ser <transitadas> incluso por los filósofos que circulan en las más <socorridas>²³

Lo que me interesa de esta noción particular de continuidad del pensamiento filosófico, no es que muestre que a lo largo de la historia haya distintas líneas de pensamiento que en un tiempo coexisten, lo cual en cierto sentido es trivial. Lo relevante es que estas líneas de pensamiento, o como Benítez las llama, vías de reflexión, no son caminos aislados. Por otra parte, una vez que estos caminos son <construidos>, existen siempre como parte de <la red de carreteras>, no obstante que algunos de ellos se encuentren en <reparación> o incluso <fuera de uso>.²⁴ En suma: este modelo explicativo muestra que cuando surge una línea de pensamiento, ésta no es aniquilada

conocimiento del mundo natural en René Descartes", *Diánoia, Anuario de filosofía*, vol. 44, IIF-UNAM y FCE, México, 1998, donde aparece una versión sucinta de estas vías.

²¹ Ver Laura Benítez, *Descartes y el conocimiento del mundo*, op. cit. p.4.

²² Laura Benítez, *ibid*, p.6.

²³ Laura Benítez, *ibídem*

²⁴ Laura Benítez, *ibid.*, pp.5-6.

jamás por sus competidoras. A lo largo de esta investigación se vio cómo Descartes, Leibniz y Newton, quienes primordialmente transitaban por la vía socorrida de su época; a veces tomaban algunos *tramos* de las vías alternas. Con esto termino lo concerniente a la idea de continuidad filosófica en este modelo teórico; a continuación procedo a hablar de cómo se puede explicar el cambio dentro de él.

Para explicar el cambio filosófico dentro de las vías de reflexión, se requiere nuevamente de la idea de <tránsito>, pero esta vez, no dentro de una vía, sino de una a otra.

Poco más arriba, se expuso que los filósofos no siempre <transitan> en una sola vía, sino que en ocasiones toman otras. La razón de ello es que la vía preferencial que toman, resultado de los <compromisos teóricos> de su época, no siempre les sirve para llegar a dónde quieren llegar. Pero, justamente, es al tomar otras vías que propician el cambio filosófico. El que los filósofos <transiten> por vías alternas es una condición necesaria pero no suficiente del cambio. Si bien hay quien hace modificaciones importantes –al moverse a otra vía-, ya sea porque hace una propuesta diferente a las anteriores o porque encuentra conexiones nuevas con viejas propuestas, hay quien no hace ninguna modificación de fondo.²⁵

Debido a que la noción de vía de reflexión es lo < suficientemente amplia > y < flexible >, ella permite evitar ciertos inconvenientes como:

- La forzada adecuación entre periodos cronológicos y desarrollos filosóficos. Por ejemplo, la consideración de que la filosofía moderna corresponde estrictamente, de manera cronológica, con la edad moderna.

²⁵ Laura Benítez, *ibidem*.

- La idea de que toda propuesta filosófica es cancelada o superada por una propuesta posterior.
- El prejuicio de que un único enfoque teórico puede agotar el tratamiento de complejos problemas filosóficos.²⁶

Así, dice Benítez:

Los inconvenientes señalados apuntan en la misma dirección, a saber, la necesidad de cuestionar la concepción del saber filosófico como 'unidimensional', 'unidireccional' y 'discontinuo', para reemplazarla por la idea de que la cultura filosófica es una compleja red de vías reflexivas que construimos, ensanchamos o angostamos en función de nuestros problemas o intereses.²⁷

Las cuatro *vías reflexivas* que Benítez considera las más transitadas son:

1. La ***vía de reflexión ontológica*** que predomina básicamente en las propuestas de las filosofías antigua y medieval.
2. La ***vía de reflexión epistemológica*** que surge en el Renacimiento y se consolida durante la modernidad temprana.

²⁶ Existe un paralelismo entre Laura Benítez y Oscar Nudler en lo que se refiere a la importancia de considerar la evolución histórica del pensamiento en aras de poder analizar cómo se da el progreso cognitivo en la filosofía. Como se ha visto, L. Benítez establece que <los cambios en las concepciones filosóficas> se dan cuando en determinados momentos de la historia una idea particular acerca del mundo no es satisfactoria y es modificada, ya sea porque surge una propuesta de explicación diferente o porque se retoman algunas propuestas viejas. Nudler, por su parte, establece que <las transformaciones de las controversias filosóficas> consisten en la reorganización de los espacios conceptuales, reorganización provocada por la incorporación de aspectos –de los problemas filosóficos en cuestión-, antes desconocidos, o si conocidos, no atendidos o profundizados. (Para conocer más acerca de las ideas expuestas por Nudler, ver “¿Progreso en la filosofía?”, *op. cit.*, p.18.)

²⁷ Laura Benítez, *Descartes y el conocimiento del mundo*, *op. cit.*, p.5.

3. La **vía de reflexión crítica** que se instaura en la segunda mitad del siglo XVII y se consolida durante la Ilustración. Esta *vía* no pierde vigencia sino hasta el final del siglo XIX.

4. La **vía de reflexión metametodológica** que se origina hacia el final del siglo XIX y tiene actualidad en buena parte de las propuestas filosóficas del siglo XX.²⁸

Ahora bien, las *vías* que tienen relación directa con las discusiones en este trabajo son las dos primeras, así sólo me detengo a examinar éstas.

Sobre la vía de reflexión ontológica

En esta *vía*, en la que se inscriben gran parte de los filósofos clásicos y medievales, se postulaba una concepción del mundo tal que éste se consideraba como algo perfectamente cognoscible; sin ningún cuestionamiento acerca de si había un límite para ello. Sin embargo, para conocer <este mundo>, i.e. para dar cuenta de los fenómenos y de lo qué los produce, era necesario bajo este esquema, apelar no sólo a una pluralidad de sustancias sino también a una cantidad de entidades –casi comparable con la cantidad de sustancias-²⁹ como los géneros, los atributos, los modos, accidentes, entelequias, etc.

A la larga, la multiplicación sin fin de estas entidades hizo que el acceso al conocimiento del mundo se hiciera demasiado complicado y que eventualmente se desechara este esquema de explicación.³⁰ En la sección destinada al tema de los fundamentos metafísicos de la fuerza en Leibniz, se

²⁸ Laura Benítez, *ibid*, pp.6-7.

²⁹ En filosofía, lo que constituye la esencia o forma de las cosas.

³⁰ Laura Benítez, *ibid.*, pp.8-9.

vio, sin embargo, que aun cuando este tipo de explicación se había hecho insondable para muchos, Leibniz, a quien se le puede ubicar dentro de la *vía epistemológica*, expresamente retoma elementos de ella para dar cuenta de la 'fuerza'.

Sobre la vía de reflexión epistemológica

Esta vía se empezó a <construir> cuando los filósofos medievales empezaron a cuestionar los supuestos e implicaciones de la vía anterior. Ya en la baja Edad Media se puede ver el rechazo a la posibilidad de conocer el mundo por medio de entidades como géneros, accidentes, atributos, etc.

Otro de los supuestos rechazados de la vía anterior es la pluralidad sustancial. En la nueva vía, el mundo natural será homogéneo sustancialmente, y la única sustancia diferente, la mente.³¹ La nueva ontología <repercutirá> evidentemente en el desarrollo de la nueva ciencia, con lo que se verán surgir nuevas y particulares maneras de explicar el mundo. Dentro de estas maneras, se encuentran los 'monismos'³² y los 'dualismos'.³³

Complementaria a la tesis de que la sustancia del mundo natural es homogénea, surgirá la concepción de que ésta puede ser estudiada bajo ciertos parámetros de regularidad, que a partir de entonces serán generalmente matemáticos.³⁴ A lo largo de este trabajo se vio cómo la idea de un mundo matematizable subyace a la filosofía natural de Descartes, pero en especial a las de Newton y Leibniz. Con esto termino mi presentación del

³¹ Laura Benítez, *ibid.*, p.11.

³² La explicación del mundo a partir de una sola sustancia; dependiendo de la modalidad de la explicación, la sustancia puede ser material o espiritual.

³³ La explicación del mundo a partir de dos sustancias: una espiritual y otra material.

³⁴ Laura Benítez, *ibid.*, p.12.

esquema de vía de reflexión y procedo al análisis del modelo historiográfico de Koyré.

Las revoluciones científicas³⁵

La historiografía de Koyré³⁶ es tanto un esquema teórico, que da cuenta de cómo se ha dado la evolución de las ideas científicas, así como un análisis de las reconstrucciones que se habían hecho –hasta su tiempo- de la historia de la ciencia.

Koyré estaba interesado en la manera en la que se había estado escribiendo la historia de la ciencia, porque tenía la convicción de que había una unidad en el desarrollo del pensamiento humano.³⁷ Sin embargo, pensaba que los métodos para historiar seguidos hasta entonces no eran los adecuados para dar cuenta de ello. Debido a esto, no sólo se dedicó a hacer un estudio detallado de los orígenes de la ciencia moderna, sino que –a lo largo de su obra- aportó una visión de lo que debe ser la investigación histórica.

Como mencioné al principio del párrafo anterior, Koyré estaba convencido de que en el pensamiento humano había una unidad; y esta unidad, según él,

³⁵ Para la presentación de la tesis de las *revoluciones científicas* de Koyré he considerado tres de sus textos: *Estudios galileanos* (1939), su primer libro de historia de la ciencia; *Del mundo cerrado al universo infinito* (1954) y *Estudios de historia del pensamiento científico* (1966). Asimismo un compendio de dos de sus artículos, y una conferencia en *Pensar la ciencia* (edición de Carlos Solís y traducción de Antonio Beltrán, *op. cit.*)

(Las referencias de las traducciones españolas de los textos del propio Koyré las hago al citar los textos directamente.)

³⁶ Koyré ha sido considerado como el padre de la historiografía de la ciencia de nuestro tiempo, debido a que su manera de entender esta disciplina influyó directamente en los historiadores que se iniciaban en el campo en los años 40. Entre estos historiadores, que a su vez han sido maestros de generaciones actuales, se encuentran los anglosajones, I. B. Cohen, A. R. Hall, M. Boas y R. S. Westfall –aunque este último no estuvo directamente asociado a Koyré.. También están los franceses, P. Costabel y R. Taton.

³⁷ Prólogo de R. Taton a *Estudios de historia del pensamiento científico*, *op. cit.*, p.2.

la constituían la filosofía, la religión y la ciencia, i.e. las formas más elevadas de pensamiento.³⁸ Así, le interesaba mostrar que la ciencia moderna tuvo su origen en la nueva actitud de los renacentistas ante la naturaleza, y que esta actitud había sido producida por un cambio filosófico.³⁹

Por otra parte, lo que Koyré buscaba con su tesis de la unidad del pensamiento, era hacer énfasis en que para entender el origen y desarrollo de la ciencia moderna debía captarse el camino seguido por este pensamiento en el movimiento de su actividad creadora. Para hacerlo era indispensable volverlo a colocar, tan fielmente como fuera posible, en el marco de su época. Esto significaba analizarlo en toda su complejidad, sin dejar de lado sus incertidumbres, las cuales en última instancia eran resultado de ideas filosóficas preconcebidas⁴⁰

La unidad del pensamiento humano

En una conferencia pronunciada en 1954,⁴¹ Koyré intenta mostrar que ha habido una grave limitación en la manera de analizar el desarrollo de la ciencia. Para él, parece un hecho establecido que aun cuando las razones para aceptar algunas teorías científicas no se reducen a la consideración de la capacidad, que éstas tienen para dar una explicación coherente de los fenómenos; dentro

³⁸ *Estudios de historia del pensamiento científico, ibid.*, p.2.

³⁹ Una historiografía de la ciencia diametralmente opuesta a la de Koyré es la de Duhem (1861-1916), para quien la ciencia moderna empieza en y con el escolasticismo tardío, tiene una continuidad intrateórica, y aunque es entorpecida por el humanismo, es continuada por el siglo XVII sin transformaciones. (Ver A. Beltrán, *Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia, op. cit.*, pp.79-81.)

⁴⁰ Prólogo de R. Taton a *Estudios de historia del pensamiento científico, op. cit.*, p.3. Para Koyré no se puede separar la filosofía de la religión, pues el pensamiento religioso siempre ha impregnado al filosófico, ya sea como motivo de inspiración, ya sea como motivo de oposición. (Ver "Orientación y proyectos de investigación" en *Estudios de historia del pensamiento científico, op. cit.*, p.4.)

⁴¹ "La influencia de las concepciones filosóficas en las teorías científicas", en la reunión de la American Association for the Advancement of Science.

de éstas no se contempla la filosofía. Esta omisión, la considera Koyré, un error muy serio y lamentable:

Estoy profundamente convencido de que el papel de la subestructura filosófica ha sido de una gran importancia, y de que la influencia de las concepciones filosóficas sobre el desarrollo de la ciencia ha sido tan grande como el de las concepciones científicas en el desarrollo de la filosofía.⁴²

Pero, afirma Koyré, que no ver la importancia que la filosofía ha tenido en el desarrollo de la ciencia es algo que se puede considerar normal.

Pues si se habla mucho de la influencia del pensamiento científico en la evolución de las concepciones filosóficas, y con razón porque es evidente y cierta –basta evocar los nombres de Descartes, de Leibniz y de Kant-, en compensación se habla mucho menos, o no se habla en absoluto, de la influencia de la filosofía en el pensamiento científico. A menos que, como hacen a veces los historiadores de obediencia positivista,⁴³ únicamente se mencione esta influencia para enseñarnos que, en tiempos pasados, la filosofía efectivamente había influido e incluso dominado la ciencia y que la (*sic*) ciencia antigua y medieval deben su esterilidad a eso.⁴⁴

Así continúa Koyré: hay quien admite la influencia manifiesta de las concepciones filosóficas en el desarrollo de la ciencia, como es el caso de E.A. Burt, ⁴⁵ aunque no ven en ellas más que soportes; <andamios> que ayudan al científico a formar y formular sus concepciones. Esto es, consideran que una

⁴² “La influencia de las concepciones filosóficas en las teorías científicas” en *Pensar la ciencia, op. cit.*, pp.47-48.

⁴³ Acerca de la línea positivista hablaré *infra*.

⁴⁴ Koyré, *ibidem*, p.48.

⁴⁵ E. A. Burt es autor de un acreditado texto, *Metaphysical Foundations of Modern Physics* (1924) del cual retomo algún extracto *infra*.

vez acabada la construcción teórica, los soportes pueden ser eliminados, y efectivamente lo son, por las generaciones posteriores. Así, cualesquiera que sean las ideas extra-científicas que hayan guiado a un Descartes o un Newton hacia sus descubrimientos, a fin de cuentas tienen escasa o nula importancia. Pero señala:

Admitamos pues, con el señor Burt, que las consideraciones filosóficas no son más que andamios. Ahora bien, dado que raramente se ve que las casas se construyan sin éstos, la comparación de Burt podría llevarnos a una conclusión diametralmente opuesta a la suya, a saber, la necesidad absoluta de estos andamios que sostienen la construcción y la hacen posible.⁴⁶

Por tanto, para hacer ver, entonces, que su manera de analizar el desarrollo de las ideas científicas es el correcto, pone el ejemplo de la controversia entre Leibniz y Newton, estableciendo que es fácil, o al menos posible, probar que esta controversia, que domina la primera mitad del siglo XVIII, no es una oposición de dos vanidades, sino una teológico-metafísica, esto es, una disputa en última instancia entre dos filosofías.⁴⁷ A partir de esto desarrolla su argumento a favor de que la ciencia está ligada a la filosofía.⁴⁸

La historia del pensamiento científico nos enseña pues (al menos trataré de defenderlo) que:

1. El pensamiento científico nunca ha estado enteramente separado del pensamiento filosófico.

⁴⁶ *Pensar la ciencia, op. cit.*, p.50.

⁴⁷ Esta controversia se vio a lo largo de este trabajo de investigación.

⁴⁸ Una consideración interesante al respecto de esta tesis es la de Nudler pues hace ver que, si bien ha habido una relación estrecha entre la filosofía y la ciencia, ciertamente no ha sido en una sola dirección, como Koyré lo enfatizaba. (Ver “¿Progreso en la filosofía?”, *op. cit.*, p.19)

2. Las grandes revoluciones científicas⁴⁹ siempre han sido determinadas por conmociones o cambios de concepciones filosóficas.
3. El pensamiento científico –me refiero a las ciencias físicas- no se desarrolla *in vacuo*, sino que siempre se encuentra en el interior de un cuadro de ideas, de principios fundamentales, de evidencias axiomáticas que habitualmente han sido consideradas como pertenecientes a la filosofía.⁵⁰

Este argumento lo termina diciendo que saber si la influencia de la filosofía en el desarrollo de las ideas científicas ha sido buena o mala, es una cuestión que, o bien no tiene mucho sentido, puesto que precisamente ha mostrado que la presencia de un ambiente y de un marco filosóficos es una condición indispensable de la ciencia misma, o bien tiene un sentido muy profundo que lleva al problema del progreso –o la decadencia- de la filosofía misma. Problema que, por otra parte, conduce a un círculo vicioso, pues siempre se responderá que las buenas filosofías tienen una buena influencia, pero sería preciso saber cuáles son las buenas influencias.

Las incertidumbres de la ciencia

En 1939 Koyré escribe:

Afortunadamente, hoy ya no es necesario insistir en el interés que ofrece el estudio histórico de la ciencia, ni tampoco es necesario –luego de las magistrales obras de un Duhem, un Emile Meyerson (...) –insistir en el interés y ricos conocimientos que aporta este estudio desde el punto de vista filosófico. En efecto, el análisis de la evolución (y de las revoluciones) de las ideas científicas –única historia que (junto con la de la técnica) da un sentido al concepto de progreso, tan ensalzado como detractado- nos pone

⁴⁹ La noción de <revolución científica> la trato *infra*.

⁵⁰ “La influencia de las concepciones filosóficas en las teorías científicas”, *op. cit.*, pp.51-52.

de manifiesto las contiendas libradas por la mente humana con la realidad; nos revela sus *derrotas*, sus victorias; muestra qué esfuerzo sobrehumano le ha costado cada paso en el camino de la comprensión de lo real, esfuerzo que condujo, en ocasiones a una verdadera <mutación> en el intelecto humano.⁵¹

Este párrafo resume las tesis principales de Koyré acerca de cómo ha de hacerse la investigación del desarrollo de las ideas científicas.⁵² A continuación hago un desglose de ellas.

Las tesis a las que me referiré, las consolidó Koyré tras largos años de investigación en los que el pensamiento religioso, que era a lo que se dedicaba entonces, le condujo al pensamiento científico.⁵³

Sin embargo, además del propio camino andado desde el pensamiento religioso –y por ende filosófico- al pensamiento científico, Koyré fue influido, en la conformación de su historiografía, por el auge de una conciencia antipositivista acompañada de un aumento de la conciencia histórica, que se estaban dando en ese momento.⁵⁴

El positivismo, la corriente filosófica imperante hacia el final del siglo XIX – siglo en el que nace Koyré- reducía la historia de la ciencia a la sucesión de descubrimientos hechos en ese terreno. Esto es, para los historiadores de línea positivista, lo importante era el cúmulo de conocimientos adquiridos a lo largo del tiempo y, por consiguiente, no había ninguna necesidad de rastrear el tipo

⁵¹ *Estudios galileanos*, Siglo XXI, México, 1998, p.1. (Las cursivas son mías.)

⁵² A partir de *Estudios galileanos*, estas mismas tesis se las verá desplegadas a lo largo de toda su obra. De ahí que para esta exposición de su historiografía tomo indistintamente párrafos de uno u otro de sus textos.

⁵³ En particular, con su estudio sobre la filosofía de Jakob Boehme (1575-1624); trabajo con el que, por otra parte, obtuvo el doctorado de Estado francés en 1937. (Ver Introducción de Carlos Solís a *Pensar la ciencia*, *op. cit.*, p.12.)

⁵⁴ Entre los varios autores exponentes de esta tendencia de pensamiento, se puede citar a tres que tuvieron una influencia directa sobre Koyré en esta cuestión: A. Tannery. G. Sarton y H. Guerlac, su amigo personal.

de dificultades a las que se enfrentaban los científicos⁵⁵ en sus investigaciones.

Pero, si al historiador positivista⁵⁶ le bastaba sólo con conocer los logros de los científicos, a un historiador no positivista, como Koyré, le interesaban más los <errores>⁵⁷ de éstos, ya que, según él, revelaban el camino de su pensamiento.

El camino hacia la verdad está lleno de obstáculos y sembrado de errores, y los fracasos son en él más frecuentes que los éxitos. Fracasos además tan reveladores e instructivos a veces como los éxitos. Por ello nos equivocáramos al olvidar el estudio de los errores; a través de ellos progresa el espíritu hacia la verdad. El *itinerarium mentis in veritatem* no es un camino recto. Da vueltas y rodeos, se mete en callejones sin salida, vuelve atrás, y ni siquiera es un camino sino varios.⁵⁸

Además los errores no se deben al azar o al descuido, sino que tienen su raíz en nociones (filosóficas) preestablecidas, como v.g. los distintos conceptos de espacio en los siglos XVII y XVIII. Por ello, dice Koyré:

Es completamente esencial integrar en la historia de un pensamiento científico, la forma en que el mismo se situaba y comprendía, con relación a lo que le precedía y acompañaba (...) La historia del pensamiento científico, tal como yo la entiendo y me esfuerzo en practicarla, tiende a

⁵⁵ El término 'científico' no se inventó sino hasta el siglo XIX, y no se empleó habitualmente hasta comienzos del siglo XX, sin embargo Koyré se refiere a los filósofos naturales como científicos; por lo que en este apartado me adecuó a su terminología.

⁵⁶ A los filósofos positivistas a los que Koyré se refiere reiteradamente, a lo largo de su obras, son Pierre Duhem y Ernest Mach (1838-1916).

⁵⁷ De acuerdo a Carlos Solís la concepción de error de Koyré está ligada a la idea de irracionalidad de Émile Meyerson (1859-1933), filósofo y crítico del positivismo, para quien lo irracional era el residuo de la realidad que resiste a someterse al esquema impuesto por el principio de causalidad. Así, el traslado de ese residuo irracional al mundo de los marcos conceptuales históricos constituirá la noción de error de Koyré. (Ver Introducción a *Pensar la ciencia*, *op. cit.*, p.36.)

⁵⁸ "Perspectivas de la historia de las ciencias" en *Estudios de historia del pensamiento científico*, *op. cit.*, p.386.

captar el camino seguido por este pensamiento en el movimiento mismo de su actividad creadora. Con este fin, es necesario colocar de nuevo las obras estudiadas en su medio intelectual y espiritual, interpretarlas en función de las costumbres mentales, de las preferencias y aversiones de sus autores.⁵⁹

Las mutaciones del intelecto y la discontinuidad en la historia de la ciencia

Líneas más arriba del penúltimo pasaje transcrito, Koyré dice que “el *intinerarium* no se da anticipadamente y que el espíritu no avanza en línea recta”, lo que remite no sólo a la cuestión de cuál es el tipo de progreso que hay en la ciencia para él, sino también cómo se da el avance de ésta.

El progreso científico para Koyré no es lineal, como he expuesto antes en una nota de página, y como asimismo se puede inferir de sus propias palabras. Pero, que el progreso no sea lineal no significa que no haya tal, pues habla de que el espíritu avanza en pos de la verdad.

En lo que se refiere a cómo se da el avance en la ciencia, dice que se da de manera discontinua,⁶⁰ esto es, “a través de mutaciones en el intelecto humano”.⁶¹ Esta idea de que hay mutaciones en la manera en que los humanos piensan es lo que constituirá la base para la afirmación koyreana de que a lo largo de la historia de la ciencia ha habido revoluciones.⁶²

⁵⁹ “Orientación y proyectos de investigación” en *Estudios de historia del pensamiento científico*, *op. cit.*, p.7.

⁶⁰ Ver “Perspectivas de la historia de las ciencias”, *op. cit.*, p.385.

⁶¹ Koyré mismo refiere que el concepto y el término de ‘mutación intelectual’ lo tomó de Gaston Bachelard (1884-1962). (Ver *Estudios galileanos*, *op. cit.*, p.1.)

⁶² La frase <revolución científica> no se utilizaba habitualmente antes de que Koyré empezara a hacerlo en el año de 1939. Y fue en 1954 cuando dos libros —escritos desde posiciones opuestas del espectro historiográfico— la incluyeron en su título: *La revolución científica* de A. R. Hall, obra que manifestaba la influencia de Koyré, y *La revolución científica y la revolución industrial*, uno de los volúmenes de *La ciencia en la historia*, una obra de orientación marxista que publicó J. D. Bernal. (La versión española de *La revolución científica y la revolución industrial* lleva el título de *Historia social de la ciencia*.) (Ver S. Shapin, *La revolución científica*, *op. cit.*, p.18.)

Una de [las] mutaciones –una de las más importantes, si no la más importante desde la invención del Cosmos por el pensamiento griego- fue sin duda la revolución científica del siglo XVII, profunda transformación intelectual de la que física moderna o más exactamente clásica, fue a la vez expresión y fruto.⁶³

La tesis de revolución científica de Koyré, es una que entrelaza muchas nociones que para él son fundamentales. Entre ellas, la de que hay rupturas en la historia de la ciencia, debido a las mutaciones en el intelecto humano⁶⁴ y, que por tanto, el avance de la ciencia se da de manera discontinua.

No hay que abusar del argumento de la continuidad. Los cambios imperceptibles desembocan en una diversidad muy clara; de la semilla al árbol no hay saltos; y la continuidad del espectro no hace sus colores menos diversos. Es cierto que la historia de la evolución espiritual de la humanidad presenta una complejidad incompatible con las divisiones tajantes; corrientes de pensamiento se prosiguen durante siglos, se enmarañan, se entrecruzan (...) Descartes está lleno de concepciones medievales; alguno de nuestros contemporáneos es además contemporáneo espiritual de Santo Tomás. Y, sin embargo, la división en periodos no es enteramente artificial. Poco importa que los límites cronológicos de los periodos sean vagos o incluso enmarañados; a una

Como es sabido, T. Kuhn habla asimismo de que en la ciencia ha habido revoluciones; sin embargo se pueden puntualizar, al menos, dos diferencias respecto a la tesis de Koyré. Una de ellas es que la idea de ‘revolución’ kuhniana se refiere a que ha habido un cambio en la manera de concebir la ciencia, y la otra es que Kuhn rechaza que el progreso científico sea un progreso hacia la verdad. Para una exposición detallada de estas cuestiones, ver A. Beltrán, *Revolución científica. Renacimiento e historia de la ciencia*, op. cit., pp.1-23 y A. Chalmers, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI, México, 2001, pp.143-157.

⁶³ *Estudios galileanos*, op. cit., pp.1-2.

⁶⁴ Estas <mutaciones> tienen su origen, si se recuerda, en cambios de concepciones filosóficas. Como un ejemplo de ello, está el siguiente pasaje de Koyré: “La historia no es inmutable. Cambia con nosotros. Bacon era moderno cuando el estilo de pensamiento era empirista; ya no lo es en una época de ciencia como la nuestra, cada vez más matemática. El primer filósofo moderno hoy es Descartes”. (Ver “El pensamiento moderno” en *Estudios de historia del pensamiento científico*, op. cit., p.10.)

cierta distancia, *grosso modo*, las distinciones aparecen bien claras; y los hombres de una misma época tienen un cierto aire de familia.⁶⁵

Otra de las nociones que entrelaza la tesis koyreana es la de la manera cómo se dan las revoluciones científicas.⁶⁶

De acuerdo con Koyré, en su Introducción a *Del mundo cerrado al universo infinito*, todos los historiadores admiten que el siglo XVIII sufrió y llevó a cabo una revolución espiritual muy radical de la que la ciencia moderna es a la vez principio y resultado. Sin embargo tal revolución ha sido descrita de muy distintas maneras:

Algunos historiadores han situado el aspecto más característico de [la revolución científica] en la secularización de la conciencia, en su alejamiento de objetivos trascendentales y su acercamiento a otros inmanentes; es decir, en la sustitución del interés por el otro mundo y la otra vida a favor de la preocupación por esta vida y este mundo. Algunos otros la han situado en el descubrimiento que la conciencia humana hace de su subjetividad esencial y, por tanto, en la sustitución del objetivismo de medievales y antiguos por el subjetivismo de los modernos. Incluso otros lo han situado en el hecho de que la vieja *vita contemplativa* cediese su lugar al de la *vita activa*. Mientras que el hombre medieval y antiguo tendía a la pura contemplación de la naturaleza y del ser, el moderno aspira a la dominación y señorío.⁶⁷

⁶⁵ “El pensamiento moderno”, *op. cit.*, pp.9-10. Resulta interesante contrastar este pasaje de Koyré con el modelo de *vías de reflexión* de Laura Benítez. Ambos modelos establecen que, en la historia, las corrientes de pensamiento se prosiguen durante siglos y se entrecruzan; sólo que mientras Koyré afirma que las mutaciones intelectuales aunque lentas finalmente dan como resultado una revolución del pensamiento; para Laura Benítez el que los cambios de concepción sean lentos, muestra que no hay cambios bruscos en la manera de concebir el mundo y, por tanto, el devenir histórico es continuo.

⁶⁶ Koyré habla explícitamente en *Estudios galileanos* de que hay una revolución que dio lugar a la física clásica y una que dio lugar a la física moderna, pero la más importante para él es la que dio lugar a la física clásica, esto es, la del siglo XVIII y de la cual hablo en esta exposición (*op. cit.*, p.2).

⁶⁷ *Del mundo cerrado al universo infinito*, SXXI, México, 1998, p.5.

Pero continúa Koyré, aunque tales caracterizaciones no sólo no son falsas, sino que además señalan aspectos importantes de la revolución espiritual; no son más que aspectos concomitantes y expresión de un proceso más profundo y fundamental cuyo resultado fue que:

El hombre perdiese su lugar en el mundo en que vivía y sobre el que pensaba, viéndose obligado a transformar y sustituir no sólo sus conceptos y atributos fundamentales, sino incluso el propio marco de su pensamiento.⁶⁸

De hecho si se quisiera atribuir el cambio de concepción científica del siglo XVIII, no a las caracterizaciones recién expuestas, sino al surgimiento del carácter experimental, el cual indudablemente constituye uno de los rasgos más característicos de la ciencia clásica, de cualquier manera se estaría hablando de un cambio metafísico.

En cuanto a la experimentación –interrogación metódica de la naturaleza-, ésta presupone tanto el lenguaje en que se formulan sus preguntas como el vocabulario que permite interpretar las respuestas. Ahora bien, si es un lenguaje matemático, o, más exactamente, geométrico, en el que la ciencia clásica interroga a la naturaleza, este lenguaje, o mejor dicho, la decisión de emplearlo –decisión que corresponde a un cambio de actitud metafísica- no podría a su vez, ser dictada por la experiencia que iba a condicionar.⁶⁹

Tampoco el cambio de concepción científica del siglo XVII, ni de ninguna revolución espiritual se puede atribuir a cuestiones sociales. Para Koyré, las ideas son independientes del contexto social.

⁶⁸ *Del mundo cerrado al universo infinito, op. cit., p.6.*

⁶⁹ *Estudios galileanos, op. cit., p.3.*

La ciencia, la de nuestra época, como la de los griegos, es esencialmente *theoria*, búsqueda de la verdad y que por esto tiene, y siempre ha tenido, una vida propia, una historia inmanente y que sólo en función de sus propios problemas, de su propia historia, puede ser comprendida por sus historiadores.⁷⁰

Además, el camino hacia la verdad, es algo imposible de asegurar si se hace depender la ciencia de la ideología y sociología de distintos pueblos.

Y si en rigor, podemos explicar por qué [la ciencia] pudo nacer y desarrollarse en Grecia, no podemos explicar por qué ocurrió así efectivamente.⁷¹

Por lo tanto, la razón fundamental por la que se dio la revolución científica del siglo XVII es una conmoción filosófico-teológica, la cual, de acuerdo con Koyré, tiene dos momentos, por lo demás íntimamente ligados: la geometrización del espacio y la disolución del Cosmos.

La revolución científica del siglo XVII, época del nacimiento de la ciencia moderna, tiene en sí misma una historia bastante complicada:

a) Destrucción del Cosmos, es decir sustitución del mundo finito y jerárquicamente ordenado de Aristóteles y de la Edad Media por un

⁷⁰ “Perspectivas de la historia de la ciencias”, *op. cit.*, p.385.

⁷¹ *Ibidem*, p.385. La afirmación de Koyré de que la ciencia es independiente de las estructuras sociales tiene, como telón de fondo, la discusión entre ‘internistas’ y ‘externistas’ acerca de qué factores se deben tomar en cuenta para la explicación de su desarrollo. Así, para un positivista, i.e. un ‘internista’, los factores a tener en cuenta son los hechos, los experimentos, las matemáticas, etc. Mientras que para un ‘externista’, los factores a tomar en cuenta son todos aquellos que afectan la marcha de la ciencia por otros caminos, v.g. las guerras como ocasión de la investigación en determinadas áreas de la medicina. Ahora bien, caracterizar a Koyré dentro de alguna de estas tendencias quizá no sea exacto, sino que más bien debe vérselo como un idealista frente a un materialismo. En los años de la guerra fría, Koyré empezó a enseñar en los Estados Unidos de Norteamérica, donde el marxismo no era bien recibido, y esa actitud coincidía con la corriente idealista en la que él mismo se venía moviendo tiempo atrás. (Ver Introducción a *Pensar la ciencia*, *op. cit.*, pp.30-33.)

universo infinito, ligado por la identidad de sus elementos componentes y la uniformidad de sus leyes.

b) Geometrización del espacio, es decir, sustitución del espacio concreto (conjunto de <lugares>) de Aristóteles, por el espacio abstracto de la geometría euclidiana en adelante considerada como real.

Se podría añadir –aunque, en el fondo, no es más que la consecuencia de lo que acabo de decir: sustitución de la concepción del movimiento-proceso por la de movimiento-estado.⁷²

Aquí termino la exposición de dos modelos teóricos que reconstruyen el camino que la ciencia ha seguido en su desarrollo a lo largo de la historia: *las vías de reflexión* de Benítez y *las revoluciones científicas* de Koyré. Estos modelos, como he mencionado, son el fundamento metodológico del recorrido conceptual que hice de la ‘fuerza’, pues sobre la base de las ideas contenidas en ellos conduje mi investigación. Al margen de que se pueda cuestionar si existe una continuidad o discontinuidad en la historia del pensamiento humano, hay una tesis de estos autores que suscribo, que además comparten: el desarrollo del pensamiento científico nunca ha estado enteramente separado del filosófico. La tesis con la que no estoy completamente de acuerdo, es que los cambios en el pensamiento humano son independientes del contexto social, como sostiene Koyré. La historia misma nos ha mostrado evidencias de que no siempre es así.

⁷² “La influencia de las concepciones filosóficas en las teorías científicas”, *op. cit.*, p.54.

APÉNDICE 2: Las reglas de choque de Descartes analizadas a partir del Sistema centro de momento de Huygens.

En el capítulo 3 hice una exposición de las ‘leyes especiales’ de Descartes (1596-1650), mejor conocidas como *reglas de choque*, y la crítica que Leibniz (1646-1716) hace al respecto de éstas. En este *apéndice* discutiré los casos que presenta Descartes, a partir de la formulación de Huygens (1629-1695) en su tratado sobre colisiones, *Motu corporum ex percussione* (1703).⁷³ Por último, muestro de manera esquematizada las soluciones de Descartes, junto con las Huygens.

Para demostrar sus reglas del movimiento de los cuerpos en el *Motu corporum*, Huygens da el ejemplo tradicional de un barco en un río en el que un hombre se encuentra a bordo de la nave y otro en la orilla. Según la velocidad del barco uno puede regular la velocidad de los cuerpos en movimiento. El punto esencial es que, de acuerdo con el *principio de relatividad de Galileo* (1564-1642), los procesos físicos en la ribera y en el barco son los mismos. Huygens demuestra con esto que la velocidad relativa antes y después de las colisiones entre cuerpos se conserva: en lenguaje moderno, la magnitud de la resta vectorial de las dos velocidades ($|\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2|^2$) es constante. Así, en el caso particular de choques colineales, los únicos considerados por Huygens, la rapidez relativa entre los dos cuerpos es igual antes y después del choque.

⁷³ El texto latino de este tratado forma parte de las “Obras póstumas” de Huygens. No lo escribió directamente, pero en él aparecen correcciones suyas. Por otra parte, se sabe que su contenido esencial data de 1656. (Ver *Œuvres Complètes de Christiaan Huygens*, publicadas por la Sociedad holandesa de las Ciencias, Martinus Nijhoff, 1929, pp.30-31. Esta versión es bilingüe: latín y francés, pero también existe una traducción inglesa de Michael S. Mahoney.

El argumento de Huygens es muy interesante. Cuando colisionan dos cuerpos, siempre se puede encontrar una velocidad del barco tal que, para el observador que navega, la velocidad de *uno* de los cuerpos antes y después del choque es la misma y sólo cambia de dirección. Entonces, por simetría, el otro cuerpo también invertirá su velocidad, conservando su magnitud. En este caso, resulta obvio que las velocidades *relativas* antes y después del choque son la misma. Eso es lo que se ve en el barco en movimiento, pero también es cierto desde la ribera, ya que la velocidad relativa de los cuerpos es independiente de la velocidad del barco. Es importante notar que, estrictamente hablando, lo anterior es la *definición* de choque elástico.

Huygens presenta las *reglas de choque* en este tratado bajo la forma de hipótesis o axiomas, lemas, y proposiciones o teoremas. Para efectos de lo que quiero mostrar, daré únicamente los enunciados de las hipótesis y proposiciones que corresponden a los casos de las *reglas cartesianas*. Ahora bien, antes de proceder a la exposición, es interesante mencionar que Huygens le escribe a Leibniz acerca de este asunto en 1692,⁷⁴ esto es, el mismo año en que Leibniz redacta sus *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos*.⁷⁵

En su **Regla 1**, Descartes establece que dos cuerpos iguales que chocan frontalmente a la misma velocidad, rebotan hacia atrás con la velocidad que llevaban (*Principios de la filosofía*, 2:46).

⁷⁴ Ver *Œuvres Complètes de Christiaan Huygens*, *op. cit.*, p.14.

⁷⁵ Si se recuerda, este es el texto de Leibniz a partir del cual hice la exposición de su crítica a las reglas de Descartes.

Según lo expuesto por Huygens en su **Hipótesis 2**, se debe suponer que dos cuerpos duros, iguales entre ellos, con la misma velocidad, y que se encuentran frontalmente desde direcciones opuestas, rebotan cada uno con la misma velocidad con la que venía. Esto es, la primera *regla cartesiana* es correcta; de hecho será la única que cumpla las condiciones dadas, no sólo por Huygens sino incluso por el mismo Descartes.⁷⁶

En la **Regla 2**, Descartes dice que el choque frontal de dos cuerpos que van a la misma velocidad, siendo el segundo (el de la derecha) un poco más grande, dará como resultado que tras la colisión, el primero, por ser más pequeño, retroceda hacia el punto de donde procede, con lo que, ambos continuarán su movimiento juntos hacia la izquierda, con la velocidad que tenían antes del choque (*Principios de la filosofía*, 2:47). Lo que se puede ver es que Descartes desprecia la oposición del cuerpo de menor tamaño.

Sobre la base de la **Proposición 9** de Huygens, cuando dos cuerpos, que tienen una diferencia muy pequeña de tamaño, colisionan frontalmente con velocidades iguales, rebotan. El cuerpo mayor pierde un poco de su velocidad, velocidad que gana el menor.⁷⁷ El asunto es que los cuerpos no pueden moverse juntos después del choque, como establece Descartes, pues su velocidad relativa sería cero, y antes del choque no lo era.

En la **Regla 3**, Descartes presupone que cuando dos cuerpos del mismo tamaño chocan frontalmente, siendo el segundo cuerpo (el de la derecha)

⁷⁶ *Sur le mouvement des corps par percussion* en *Œuvres Complètes de Christiaan Huygens*, op. cit., p.31.

⁷⁷ *Ibid*, pp.48-50.

ligeramente más veloz, el resultado es que tras el choque, el de mayor velocidad arrastra (hacia la izquierda) al de menor velocidad (*Principios de la filosofía*, 2:48). El asunto aquí es que –al igual que en la regla 2- Descartes desprecia la oposición del cuerpo que considera menos fuerte, en este caso, el de menor velocidad.

A partir de lo que Huygens demuestra en la **Proposición 2**, si dos cuerpos iguales chocan frontalmente a velocidades diferentes, después del contacto, rebotan intercambiando sus velocidades.⁷⁸

En su **Regla 4**, Descartes da por hecho que si un cuerpo está en reposo, y además es al menos un poco mayor que el que lo colisiona, no será movido; aun cuando el móvil lo alcance a gran velocidad (*Principios de la filosofía*, 2:49).

De acuerdo con lo demostrado por Huygens en su **Proposición 3**, en un choque no es relevante que un cuerpo esté en reposo ni que sea mayor que el móvil; el cuerpo estático siempre será movido por uno que lo alcance, no obstante cuán pequeño sea este último.⁷⁹

En la **Regla 5**, Descartes supone que cuando el cuerpo en reposo es algo menor que el que lo colisiona, entonces, el móvil lo arrastra con su velocidad inicial (*Principios de la filosofía*, 2:50).

Según muestra Huygens en la **Proposición VII**, cuando un cuerpo de dimensiones mayores golpea uno de dimensiones menores, le da una

⁷⁸ *Ibid*, p.36.

⁷⁹ *Ibid*, p.40.

velocidad menor al doble de la suya.⁸⁰ Esto es, el móvil provoca que el cuerpo originalmente en reposo se mueva, pero no lo arrastra.

En la **Regla 6**, Descartes considera que si el cuerpo en reposo es de las mismas dimensiones que el que lo colisiona, da como resultado que el móvil rebote y el cuerpo originalmente en reposo sea rechazado (*Principios de la filosofía*, 2:51).

Lo que demuestra Huygens, en la **Proposición 1**, es que si un cuerpo en reposo es golpeado por otro del mismo tamaño en movimiento, tras el contacto el móvil se detiene, y el cuerpo originalmente en reposo adquiere la velocidad y dirección del cuerpo entrante.⁸¹

En su **Regla 7**, Descartes presenta casos de dos cuerpos de distinto tamaño que colisionan en la misma dirección (hacia la izquierda). Las condiciones generales son que el segundo cuerpo (el de la derecha) invariablemente tiene menor tamaño que el primero, pero su velocidad es siempre mayor (*Principios de la filosofía*, 2:52). Ahora bien, en el primer caso la razón de las velocidades del segundo cuerpo al primero es mayor que la razón de masas del primero al segundo. Dicho de otro modo, la cantidad de movimiento del cuerpo pequeño es mayor que la del grande. Según Descartes los cuerpos después del choque se moverían juntos. Cosa que no es cierto de acuerdo a las reglas demostradas por Huygens. El segundo caso es al revés, la cantidad de movimiento del cuerpo pequeño (el de la derecha) es menor que la del grande. De acuerdo con Descartes, el cuerpo pequeño será rechazado en

⁸⁰ *Ibid*, p.50.

⁸¹ *Ibid*, p.32.

sentido contrario con su misma velocidad inicial. Lo que también es falso por las reglas de Huygens: suponiendo que el cuerpo pequeño sólo cambia su dirección, el grande tendría que seguirlo para mantener la misma velocidad relativa, lo cual no sucede.⁸²

En la siguiente página presento de manera esquematizada las *reglas de choque* de Descartes, y las soluciones dadas por Huygens en su tratado:

⁸² Considero importante mencionar que W. Shea afirma que la quinta *regla de choque* de Descartes y el primer caso de la séptima son correctas (ver *La magia de los números y el movimiento, op. cit.*, pp.414-416). Esto como se ha mostrado es falso.

APÉNDICE 3: La diferencia entre *vis* y *virtus*.

En una nota de pie al inicio del capítulo 4 de este trabajo, expuse que en mi apreciación, se puede hacer una distinción genérica entre *vis* y *virtus*, entendiendo la *vis* como una fuerza en sentido mecánico (como la conocemos actualmente), y la *virtus* como una fuerza de tipo espíritu-material. Esto es, dependiendo del autor, nos vamos a encontrar con una *virtus* a veces más de tipo espiritual, en el sentido de (alma) inmaterial, a veces menos espiritual, como un vapor sutil y, por consiguiente, material. Para darle sustento estas ideas, me apoyo en pasajes de libros de M. Jammer y de R. S. Westafall.

Jammer, en *Concepts of Force*, dice que para Kepler (1571-1630) la fuerza en la época de su *Astronomia Nova* (1609) era todavía una facultad animista, como lo había sido en su *Mysterium Cosmographicum* (1596).⁸³

Vemos que los movimientos tienen lugar en el espacio y el tiempo, y esta *virtud* emana y se difunde a través de los espacios del universo.⁸⁴

Pero, con la elaboración progresiva de sus leyes del movimiento planetario, en particular con el reconocimiento de que la velocidad planetaria es mayor en el perihelio y menor en el afelio, se convencía día a día más de que la facultad inmaterial, asentada en el Sol y responsable de estos movimientos, era algo más mecánico que espiritual. De hecho, en su *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1618-1621), Kepler ya concibe esta facultad como una fuerza

⁸³ Ver *Concepts of Force*, *op. cit.*, p.86.

⁸⁴ "Videmus enim motus istos perfici in loco et tempore, et emanare atque diffundi *vitutem* hanc a fonte per spacia mundi" *Astronomia Nova*, citado en Jammer, *Concepts of Force*, *op. cit.*, p.87. (La cursivas son mías.)

(*vis*)⁸⁵ en el sentido mecánico de la palabra. Si bien, comenta Jammer, este concepto en su expresión estaba todavía entremezclado con elementos de carácter espiritual.⁸⁶

Si se sustituye la palabra *alma* por la palabra *fuerza*, se tiene el principio exacto en el que se basa la física celeste del tratado sobre Marte, etc. (...) Antes creía que la causa del movimiento planetario era un *alma* (...) Pero cuando me di cuenta que estas causas motrices se debilitan con la distancia al Sol, llegué a la conclusión de que esta *fuerza* es algo corpóreo, si no del todo, al menos en cierto sentido.⁸⁷

Esta distinción que hace Jammer de las nociones de *vis* y *virtus* en Kepler se puede apreciar asimismo en los escritos de Descartes (1596-1650) y de Newton (1642-1727). Por ejemplo, cuando Descartes se refiere al magnetismo en *Los Principios de la Filosofía*, parte 4:133-187, habla de este fenómeno como debido a una 'virtud'. Así, en el párrafo 164 donde habla de por qué 'el acero recibe mayor fuerza de un buen imán que de uno de menor calidad', lo explica de la manera siguiente:

Si un imán es más grande y más perfecto, comunica al acero una *virtud* más intensa, a causa de que las partículas estriadas, penetrando con más impetuosidad en los poros del acero, invierten fácilmente todas las pequeñas ramificaciones que encuentran en sus repliegues; también a causa de que, fluyendo en mayor cantidad unidas, adecuan una mayor cantidad de poros. *Pues es preciso señalar que siempre hay muchos más*

⁸⁵ "Vis seu energia", citado en Jammer p.87.

⁸⁶ Ver *Concepts of Force*, *op. cit.*, p.87.

⁸⁷ « Si pro voce *anima* vocem *vim* substituas, habes ipsissimum principium, ex quo Physica Coelestis in Comment. Martis est constituta et lib. IV Epitomes Astr. exculpta. Olim enim causam moventem planetas absolute *animam* esse credebam... At cum perpenderem hanc causam motricem debilitari cum distantia a Sole : hinc conclusi *vim* hanc esse corporeum aliquid, si no propie, saltem aequivoce ». *Epitome Astronomiae Copernicanae*, citado en Jammer, *op. cit.*, p.90. (Las cursivas son mías.)

*de tales poros en el hierro o en el acero, cuyas partículas son únicamente metálicas, que en el imán, donde las partículas metálicas están mezcladas con las de una piedra.*⁸⁸

De cualquier manera, la diferencia entre la *virtus* de Descartes y la de Kepler es que, para el primero ésta tiene su origen en lo material y no en lo espiritual como para el segundo. Mientras que, como se vio arriba, para Kepler lo que tiene origen material es lo que produce el movimiento mecánico, esto es, la *vis*.

Cuando Descartes trata lo que concierne a las leyes de movimiento, sea en *El Mundo o tratado de la luz* que en *Los Principios de la Filosofía*, siempre habla de 'la fuerza' (*la force*; en francés).⁸⁹ Así, en un pasaje del capítulo 7 del *Mundo*, dice:

Suponiendo que [Dios] ha puesto una determinada cantidad de movimientos en toda la materia en general desde el primer instante que la creó (...) Suponiendo así que, las diversas partes de la materia, en que estos movimientos se encontraban desigualmente dispersos, comenzaron a

⁸⁸ « Et selon qu'un aymant est plus grand et plus parfait, il luy communique vne vertu plus forte, à cause que les parties canelées, entrant avec plus d'impetuosité dans ses pores, renversent plus parfaitement toutes les petites branches qu'elles rencontrent en leurs replis; et aussi à cause que, venant en plus grande quantité toutes ensembles, elles se preparent plus grand nombre de pores. *Car il est à remarquer qu'il y a tous-jours beaucoup plus de tels pores dans le fer ou l'acier, duquel toutes les parties sont métalliques, que dans l'aymant, où ces parties métalliques sont mêlées avec celles d'une pierre* ». (Adam y Tannery, *Œuvres de Descartes*, IX, 432, Vrin, Paris, 1996.) (Las cursivas son mías.)

Para la traducción española que presento, ver *Los Principios de la filosofía*. Edición de Guillermo Quintás, *op. cit.*, pp.377-378. (Las cursivas y los subrayados son míos.)

⁸⁹ En latín clásico la palabra 'fuerza' era <vis>, pero en latín vulgar era <fortia>, la que se transformó en las lenguas romances, y en algunas otras con raíces latinas, en *fuerza*, *force*, *forza*, etc. Los términos latinovulgares corresponden a formas en desarrollo, esto es, en cierto estado de uso y desgaste. Así, en la creación de 'fortia' parece ser que lo que convenía era vincular el sustantivo *vis* al adjetivo 'fortis' <fuerte>. Ver Antonio Alatorre, en "El latín vulgar", *Los 1001 años de la lengua española*, FCE, México, 2002, pp.57-64.

conservarlos o a transferirlos de una a otra según la *fuera* que tenían, se ha de pensar necesariamente que Dios continúa siempre provocando lo mismo.⁹⁰

Y en el caso de las 'leyes especiales' o reglas de los 'choques entre cuerpos', en la parte 2:40 de los *Principios* dice:

La tercera ley de la naturaleza es ésta: si un cuerpo que se mueve y alcanza a otro cuerpo, tiene menos *fuera* para continuar moviéndose en línea recta de la que este otro cuerpo tiene para resistir al primero, pierde la determinación de su movimiento, sin perder nada de su movimiento; pero si tiene más *fuera*, mueve este otro cuerpo y pierde tanto movimiento como transmite al otro.⁹¹

Antes de terminar con la exposición de la *virtus* y la *vis* para Descartes, es interesante resaltar una cuestión acerca del uso que hace de estas nociones. En *Los Principios*, en el título del artículo 4:161 de la versión francesa, escribe que "el imán no pierde nada de su 'virtualidad' al comunicarla al hierro", pero en el artículo propiamente, habla de que "es fácil dar respuesta a quienes preguntan por qué el imán no pierde nada de su 'fuera'". Esto no es difícil de explicar, si se sigue lo expuesto en una nota de pie anterior: que 'fuera' es un

⁹⁰ « Et supposant que [Dieu] a mis certaine quantité de mouvemens dans toute la matière en general, dès le premier instant qu'il l'a créée... Et supposant avec cela que les diverses parties de la matière, en qui ces mouvements se sont trouvez inégalement dispersez, ont commencé à les retenir, ou à les transferer de l'une à l'autre, selon qu'elles en ont pû avoir la *force*, il faut necessairement penser, qu'il leur fait toujours continuer la mesme chose ». (Adam y Tannery, *op. cit.*, XI, 43.) (Las cursivas son mías.)

Traducción en español de Salvio Turró, *El Mundo. Tratado de la luz*, *op. cit.*, p.121.

⁹¹ « La troisiéme loye que je remarque en la nature, est que, si vn corps qui meut et qui en rencontre vn autre, a moins de *force*, pour continuer de se mouuoir en ligne droite, que cét autre pour luy resister, il perd sa determination sans rien perdre de son mouuement ; et que, s'il a plus de *force*, il meut avec soy cét autre corps, et perd autant de son mouuement qu'il luy en donne. » (Adam y Tannery, *op. cit.*, IX, 99.) (Las cursivas son mías.)

Traducción en español de Guillermo Quintás, *op. cit.*, p.101. (Las cursivas son mías.)

adjetivo, mientras que la *virtus* es un sustantivo. De cualquier manera, en la versión latina, en lugar de ‘virtualidad’, aparece “vim magnetica”.⁹² Lo que llama la atención es que la versión latina es, como se sabe, la original (publicada en 1644), y que luego apareció la traducción francesa (en 1647), que aunque hecha por Picot, fue revisada por el mismo Descartes. Lo anterior se puede deber a que Descartes no tenía muy claro cuál era la verdadera naturaleza del magnetismo y, por tanto, oscila entre llamarlo *vis* o *virtus*. O, por el contrario, tenía tan claro que el magnetismo era un tipo de fenómeno difícilmente reducible al *mecanicismo* que, por ello, se da la licencia de retomar el término *virtus*. (En particular, considero que la segunda es la respuesta más viable.)

En el caso de Newton, los sentidos de *vis* y *virtus* parecen estar más claramente acotados, pues, cuando se refiere a cuestiones mecánicas, el término que usa es *vis*. En los *Principios matemáticos de la filosofía natural*, v.g., define la ‘fuerza de inercia’ y la ‘fuerza impresa’ en términos de “vis”. Así, en la versión latina se lee:

LEX I

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a **viribus** impressis cogitur statum suum mutare.

LEX II

Mutationem motus proportionalem esse **vi** motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua **vis** illa imprimitur.⁹³

⁹² Ver el comentario de Guillermo Quintás, en *op. cit.* p.376.

⁹³ Títulos de las leyes del movimiento primera y segunda. *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Edición de A. Koyré y B. Cohen, Harvard University Press, E.U.A., 1972, p.54. (Las cursivas son mías.)

El término latino de *vis* era traducido al inglés y al francés, desde el mismo siglo XVIII, como 'fuerza'. (Esta traducción es la misma que corresponde al español.⁹⁴) Por consiguiente, en el idioma inglés y, a partir de la traducción que Andrew Motte hizo en 1729 de la primera edición de los *Principia*, las nociones de 'fuerza de inercia' y de 'fuerza impresa' se leen:

Law I

Every body perseveres in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by *forces* impressed theorem.

Law II

The alteration of motion is ever proportional to the motive *force impressed*; and its made in the direction of the right line in which that *force* is impressed.⁹⁵

Y en la traducción francesa que Emilie de Breteuil, Marquesa del Châtelet (1706-1749) terminó en 1749 de la última versión de los *Principia*, la de 1726,⁹⁶ estas nociones de fuerza se leen:

PREMIÈRE LOI

Tout corps persévère dans l'état de repos ou mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque *force* n'agisse sur lui, & ne le contraigne à changer d'état.

⁹⁴ La traducción española de estas leyes del movimiento es la siguiente: Ley primera. Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas. Ley segunda. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza. (Esta traducción es de Antonio Escotado y está basada en la última versión de los *Principia*, i.e. la 1726. Ver *Principios matemáticos de la filosofía natural, op. cit.*, p.27, para la traducción de las leyes.)

⁹⁵ Traducción de Andrew Motte. Edición de N.W. Chitenden, Prometheus, Nueva York, 1995, p.19. (Las cursivas son mías.)

⁹⁶ Hubo tres ediciones de Los *Principia* en vida de Newton, la primera en 1687, la segunda en 1713 y la tercera en 1726.

DEUXIÈME LOI

Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la *force motrice*, & se sont dans la ligne droite dans laquelle cette *force* a été imprimée.⁹⁷

Ahora bien, cuando en la *Óptica o Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, en la cuestión 31,⁹⁸ Newton habla de los fenómenos de atracción como la gravedad, el magnetismo y la electricidad, dice:

¿No poseen las pequeñas partículas de los cuerpos ciertos *poderes, virtudes* o *fuerzas* con los que actúan a distancia no sólo sobre los rayos de luz (...), sino también entre ellas, para producir una gran parte de los fenómenos de la naturaleza? Es bien sabido que los cuerpos actúan unos sobre otros por las atracciones de la gravedad, el magnetismo y la electricidad. Estos ejemplos muestran el tenor y el curso de la naturaleza, haciendo que no sea improbable la existencia de otros *poderes de atracción* además de éstos.⁹⁹

⁹⁷ Tomado de una edición facsimilar de la traducción de los *Principia* por Emilie de Breteuil. (*Principes Mathematiques de la Philosophie Naturelle*, Jaques Gabay, Paris, 1990, p.17.) (Las cursivas son mías.) Poco antes de que Newton muriera, Voltaire (1694-1778) visitó Inglaterra. Si bien no entendía mucho de matemáticas, intuyó la trascendencia de la obra de Newton y se propuso difundirla en Francia. Para ello contaba con amigos científicos, entre los cuales destacaba la Marquesa del Châtelet. La traducción al francés de los *Principia* hecha por la Châtelet es, hasta la fecha, la única en ese idioma.

⁹⁸ La *Óptica* fue publicada por primera vez en inglés en 1704, con una serie de 'cuestiones' numeradas hasta la 24. En 1706 aparece la versión latina con la serie de 'cuestiones' hasta la 31, tal como ha llegado hasta nosotros. De acuerdo a R. Westfall, la 'cuestión 31' era una versión ampliada de las especulaciones sobre las *fuerzas* que Newton había planeado incluir en los *Principia*. (Ver *Isaac Newton: una vida*, Cambridge University, Madrid, 2000, p.244.)

⁹⁹ "Have not the small Particles of Bodies certain *Powers, Virtues, or Forces*, by which they act at a distance, not only upon the Rays of Light..., but also upon another for producing a great part of the Phaenomena of Nature? For it is well known, that Bodies act upon another by the Attractions of Gravity, Magnetism and Electricity; and these Instances shew the Tenor and Course of Nature, and make it not improbable but that there may be more attractive *Powers* than these". *Opticks*. Edición de Bernard Cohen, *op. cit.*, pp.375-376. (Las cursivas son mías.)

Incluso, en otra parte de la cuestión 31, se refiere al magnetismo como «efluvio magnético». Pero lo más interesante, y que sirve para mostrar que Newton hacía una clara delimitación entre *virtus* y *vis*, es que hacia el final de esta misma cuestión 31, hace una diferenciación entre la *inercia* como *vis*, esto es, como algo perteneciente a la mecánica, y la gravedad como un 'principio activo'.

Me parece además, que estas partículas no sólo tienen una *vis inertiae*, y que están acompañadas de dichas leyes pasivas del movimiento como resultado natural de esa fuerza, pero que también, [esas partículas] son movidas por ciertos *principios activos* como el de la gravedad.¹⁰⁰

Por último, antes de finalizar este apéndice, es de interés presentar de dónde derivan los términos *virtus* y *vis*, pues ello sirve para esclarecer por qué los filósofos naturales los usaban de la manera en que lo hacían.

La raíz latina, de la que derivan ambos términos, es **vir** (hombre) y, de acuerdo al *Diccionario etimológico latino y español*, algunas acepciones de *virtus* son: cualidad viril, hombría, fortaleza [de ánimo, de carácter]; energía, firmeza, valentía, bravura, coraje; integridad: *v. animi*, las cualidades viriles del alma y *v. militum*, la bravura de los soldados. Mientras que algunas de las acepciones de *vis*, *vim*, *vi*, pl. *vires*, *virium*, *virirus*, son: fuerza, violencia, vigor, poder, pujanza, eficiencia; asimismo: empleo de la fuerza; maneras o métodos violentos; animosidad, agresividad: *vi*, *per vim*, por la fuerza, violentamente.

¹⁰⁰ "It seems to me farther, that these Particles have not only a *Vis inertiae*, accompanied with such passive Laws of Motion as naturally result from that Force, but also that they are moved by certain *active Principles*, such as is that of Gravity". (*Opticks*. Edición de B. Cohen, *op. cit.*, p.401.) (Las cursivas son mías.)

Debido quizá a la declinación de *vir* en *vis* es que Westfall, en *Force in Newton's Physics*, afirma que tanto Descartes como Newton concebían la *vis* a la vieja usanza que conectaba la *fuerza* con la violencia, como opuesta al orden natural –aun cuando sus filosofías no aceptaran tal noción. Para sustentar esto en el caso de Descartes, cita unas líneas de dos cartas que éste dirige a Mersenne (1588-1648) en 1642. En la primera de las cartas citadas –del 19 de enero- dice: “una bala de cañón se mueve con una ‘fuerza impresa’ y es empujada por ella ‘con gran violencia’”; y en el extracto de la segunda carta – del 17 de noviembre- se lee: “hay una ‘fuerza’ o ‘violencia’ en el movimiento de las partículas acuosas en el vapor”.¹⁰¹

Para el caso de Newton, Westfall cita un ensayo, aparentemente escrito por la misma fecha que las primeras ‘cuestiones’ de la *Óptica*, titulado “Of violent Motion”, donde considera las alternativas para la continuación de ‘lo violento’, esto es, del movimiento de proyectiles.¹⁰²

Concluyo diciendo que los casos de los filósofos naturales que he presentado en este apéndice hacen posible ver que, cuando hablaban de fuerza en términos de *virtus*, lo que hacían era explicar un tipo muy particular de fenómenos. También, cuando usaban *vis*, parece evidente que se referían al movimiento dentro del dominio de la mecánica. Ahora bien, es claro que hay mucho más detrás, como v.g. la razón de que Descartes, en su versión latina de *Los Principios*, se refiriera a la fuerza magnética como «vim magnetica» y

¹⁰¹ Ver los extractos de las cartas citadas en los apéndices de Westfall en *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, p.533.

¹⁰² (Ver Westfall, *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, 342.) Por otra parte, en la primera ley del movimiento, Newton dice que “el ejercicio de la ‘fuerza de inercia’ puede ser considerado como resistencia e impulso”; lo que puede leerse como que un cuerpo no sólo se resiste a ser cambiado de estado, sino que, además, *reacciona de manera violenta* contra ese cambio.

luego en la francesa esta «vim» apareciera como *virtud*: aparentemente un salto hacia atrás en su conceptualización de la fuerza. Asimismo, queda mucho por entender acerca del porqué de la flexión de *vir* a *vis*, esto es, de hombre con el sentido de ‘recto en su proceder’ a hombre violento, pasando por estados intermedios en los que la *vir* declina en capacidad militar (*virtus*), aunque también en veneno (*virus*).

APÉNDICE 4: Sinopsis de las nociones de fuerza de Descartes, Newton y Leibniz.

En los capítulos 5, 6 y 7 expuse la discusión sobre el tema del estatus ontológico de la noción de fuerza de los filósofos naturales arriba mencionados. En este apartado presento un cuadro comparativo en el que señalo en cuáles textos y, por tanto, hacia qué época de su vida, las *fuerzas* eran para estos autores, ya sea:

- a) **Inherentes** o **asociadas** a la materia, es decir, residentes en los cuerpos o causadas por un agente exterior: *material* o *inmaterial*.
- b) Asimismo, **mecánicas** o **no-mecánicas**, esto es, por impactos entre cuerpos o entre las partes de éstos; dentro de esta modalidad se contemplan también las que se dan por presión y tracción. O de tipo espiritual, con una gradación que iba de lo *inmaterial* (como opuesto a lo *material*), a lo intermedio entre lo *inmaterial* y *material*. Incluso por ‘acción a distancia’, en el caso de las ‘Cuestiones 25-31’ de la *Óptica* de Newton.¹⁰³
- c) Por otro lado, si eran **instrumentales**, o sea, un recurso heurístico cuya única función era describir los fenómenos.

También, indico cuando esta caracterización no se puede suponer como definitiva, en cuyo caso, doy las referencias de los especialistas en la cuestión (vistos en este trabajo), que consideran que tal o cual es la asignación correspondiente.

¹⁰³ El contenido de las ‘Cuestiones’ mencionadas, aparece por primera vez en 1706, con la igualmente primera publicación latina de la *Óptica*.

Descartes (1596-1650)

Fuerzas inherentes	Fuerzas asociadas	Fuerzas mecánicas	Fuerzas no-mecánicas	Fuerzas instrumentales
<p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">(Gueroult)¹⁰⁴</p> <p style="text-align: center;">y</p> <p style="text-align: center;">(Gabbey)¹⁰⁵</p>	<p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;"><i>El Mundo</i>¹⁰⁶ (h. 1630- 33)</p> <p style="text-align: center;">y</p> <p style="text-align: center;"><i>Los principios de la filosofía</i>¹⁰⁷ (1644 y 1647)</p>	<p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;"><i>Tratado sobre la mecánica</i> (1637),</p> <p style="text-align: center;"><i>El Mundo</i>¹⁰⁸ (h. 1630- 33)</p> <p style="text-align: center;">y</p> <p style="text-align: center;"><i>Los principios de la filosofía</i>¹⁰⁹ (1644 y 1647)¹¹⁰</p>	<p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">(Hatfield)¹¹¹</p>	<p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">(Garber)¹¹²</p>

¹⁰⁴ Ver «Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche», *Revue de Métaphysique et de Morale* (1954), citado en A. Gabbey, «Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics», *Studies in History and Philosophy of Science*, *op. cit.*, p.9.

¹⁰⁵ Ver «Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics», *op. cit.*, p.9.

¹⁰⁶ Ver las Leyes del movimiento, capítulo 7.

¹⁰⁷ Ver las Leyes del movimiento en la Parte 2, párrafos 36-52.

¹⁰⁸ Ver capítulo 7.

¹⁰⁹ Ver las Leyes del movimiento en la Parte 2, párrafos 36-52.

¹¹⁰ Ver Parte 2, párrafos 36-52.

¹¹¹ Ver «Force (God) in Descartes' Physics», *Studies in History and Philosophy of Science* (1979), citado en Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, *op. cit.*, p.374.

¹¹² Ver *Descartes' Metaphysical Physics*, *op. cit.*, p.298.

Newton (1642-1727)

Fuerzas inherentes	Fuerzas asociadas	Fuerzas mecánicas	Fuerzas no-mecánicas	Fuerzas instrumentales
*	*	*	*	
La <i>inercia</i> en los <i>Principia</i> ¹¹³ (1687, 1713, 1726)	La <i>gravedad</i> en la segunda, tercera y cuarta cartas a Bentley ¹¹⁵ (1692-93)	La <i>gravedad</i> en la tercera carta a Bentley (1692)	La <i>gravedad</i> en la tercera carta a Bentley (1692)	
La <i>inercia</i> junto con la <i>gravedad</i> y demás fenómenos eléctricos o electro-magnéticos en las 'Cuestiones' 25- 31 de <i>la Óptica</i> (1721) ¹¹⁴		El <i>impulso</i> y la <i>gravedad</i> en los <i>Principia</i> ¹¹⁶ (1687, 1713 y 1726)	El <i>impulso</i> y la <i>gravedad</i> en los <i>Principia</i> ¹¹⁷ (1687, 1713 y 1726) Asimismo, los fenómenos eléctricos o electro-magnéticos en <i>el Escolio</i> a la segunda edición de los	

¹¹³ Ver la *Definición* III.

¹¹⁴ La *Óptica* fue publicada siete veces en vida de Newton, pero en el recuadro hago referencia sólo a la versión de 1721, pues ella contiene las 'Cuestiones' tal como las que leemos actualmente.

¹¹⁵ Cartas de Newton a Bentley del 17 de enero y 25 de febrero 1692, asimismo del 11 de febrero de 1693. (Ver B. Cohen en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy, op. cit.*, pp.291-312.)

¹¹⁶ Ver *Definiciones* V y VIII.

¹¹⁷ Ver *Definiciones* V y VIII.

¹¹⁸ Ver Mc Mullin "¿Es activa la materia?", *El concepto de materia, op. cit.*, pp.80-102. Para este autor las *fuerzas newtonianas*, en su totalidad, son netamente espirituales, esto es, opuestas a lo material.

		<p>También la <i>gravedad</i> y los fenómenos <i>eléctricos</i> o <i>electro-magnéticos</i> en las 'Cuestiones' 1-24 de la <i>Óptica</i> (1721)</p>	<p><i>Principia</i></p> <p>También la <i>gravedad</i> y los fenómenos <i>eléctricos</i> o <i>electro-magnéticos</i> en las 'Cuestiones' 25-31 de la <i>Óptica</i> (1721)</p> <p>Todas las <i>fuerzas newtonianas</i> (Mc Mullin)¹¹⁸</p>	
--	--	---	--	--

Leibniz (1646-1716)

Fuerzas inherentes	Fuerzas asociadas	Fuerzas mecánicas	Fuerzas no-mecánicas	Fuerzas instrumentales
*	*	*	*	
	Carta a Thomasius ¹¹⁹ (1669),		Carta a Thomasius (1669)	
Carta a Arnauld (1671),	Carta a Hobbes (1670),	Carta a Hobbes ¹²⁰ (1670),	Carta a Arnauld ¹²¹ (1671),	
<i>Hypothesis physica nova</i> (1671),			<i>Hypothesis physica nova</i> ¹²² (1671),	
<i>Breve demostración del error memorable de Descartes</i> (1686),			<i>Breve demostración del error memorable de Descartes</i> ¹²³ (1686),	

¹¹⁹ En la carta a Thomasius el “principio del movimiento” es una ‘mente’, que en última instancia es Dios.

¹²⁰ En la carta a Hobbes, la *fuerzas* se deben a los *conatos* entre cuerpos.

¹²¹ En la carta a Arnauld, la *fuerza* es debida asimismo a un *conatus*, pero a diferencia de lo relatado a Hobbes, el *conatus* es una especie de intelecto y, por consiguiente, ya inherente a los cuerpos. Este nuevo tipo de *conatus* dará lugar a la *teoría de la armonía preestablecida*, y posteriormente a su noción de *mónada*.

¹²² En *Hypothesis physica nova*, la versión de *conatus* es básicamente la misma que la de la carta a Arnauld.

¹²³ Leibniz se refiere en este texto a la *fuerza* como la *fuerza motriz* o ‘fuerza de movimiento’ de los cuerpos. Hacia el mismo año redacta otro escrito, conocido actualmente como *Discurso de metafísica*, donde habla de la *fuerza* en los mismos términos, sólo que además añade unas reflexiones metafísicas.

<p><i>Specimen Dynamicum</i> (1695),</p> <p><i>De la naturaleza misma</i> (1698)</p>			<p><i>Specimen Dynamicum</i>¹²⁴ (1695),</p> <p><i>De la naturaleza misma</i>¹²⁵ (1698)</p>	
--	--	--	--	--

¹²⁴ En este ensayo, Leibniz dice de manera explícita que las *fuerzas* (tanto las que se pueden explicar mecánica o matemáticamente, como aquella que es propiamente la fuente de actividad de la materia) son inherentes a los cuerpos.

¹²⁵ Al igual que en el *Specimen*, Leibniz expone que las *fuerzas* son inherentes. Por otra parte, en este tratado aparece ya la noción de *mónada* para este tipo de discusiones sobre filosofía natural. Asimismo, en la carta de 1698-99 a Juan Bernoulli, Leibniz hace alusión a esta noción. En estas dos obras, las *mónadas* están constituidas por un elemento *material* y otro *inmaterial*, esto es la *fuerza* de actividad de los cuerpos, ya no está inserta en la *materia prima* (la extensión), sino que ambas constituyen una unidad. Posteriormente, en una carta de 1704 a De Volder destierra la *materia prima* al mundo de lo fenoménico; luego en 1706, en una misiva a Des Bosses le manifiesta que las fuerzas ‘mecánicas’ son asimismo fenómenos. Para 1714, el único tipo de fuerza que habrá resistido todos los avatares será la que da propiamente actividad a la materia, y es la que conformará entonces a la *mónada*.

Bibliografía citada

Obras fuente

Aristóteles, *Física*. Edición de Guillermo de Echandía, Gredos, Madrid, 1998.

_____, *On the Heavens* en *Great Books of the Western World*. Edición de R. M. Hutchins, Enciclopedia Britannica, Chicago-Londres, 1952.

_____, *On Generation and Corruption* en *Great Books of the Western World*. Edición de R. M. Hutchins, Enciclopedia Britannica, Chicago-Londres, 1952.

_____, *Meteorology* en *Great Books of the Western World*. Edición de R. M. Hutchins, Enciclopedia Britannica, Chicago-Londres, 1952.

Breteuil, E., *Institutions de Physique*. Versión facsimilar, (<http://gallica.bnf.fr>).

D'Alembert, J., *Traité de Dynamique* (1743). Versión facsimilar, Culture et Civilization, Bruselas, 1967.

_____, *Traité de Dynamique* (1758). Versión facsimilar, Editions Jacques Gabey, Paris, 1990.

Descartes, R., *Discurso del método*. Edición de Antonio Rodríguez, Aguilar, Buenos Aires, 1980.

_____, *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.

_____, *Las pasiones del alma*, trad. Consuelo Berges, Cien del Mundo, México, 1993.

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

-----, *Meditaciones metafísicas y otros textos*. Edición de E. López y M. Graña, Gredos, Madrid, 1987.

_____, *Œuvres de Descartes*. Edición de Adam y Tannery (1903), Vrin, Paris, 1996.

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

_____, *Reglas para la dirección del espíritu*. Edición de Juan Manuel Navarro, Alianza, Madrid, 1984.

_____, *Tratado del hombre*. Edición de Guillermo Quintás, Editora Nacional, Madrid, 1980.

Duhem, P., *La teoría física*, trad. María Pons, Herder, Barcelona, 2003.

Encyclopedie, Versión facsimilar, (diderot.alembert.free.fr).

Euler, L., *Recherches sur l'origine des forces*. Versión facsimilar, (<http://math.dartmouth.edu/~euler/> -2005-).

_____, *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*. Edición de Ana Rioja, Alianza, México, 1998.

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

_____, *Éloge de M. Newton*. Versión facsimilar, (<http://gallica.bnf.fr>).

_____, *Éloge de M. Liebnitz*. Versión facsimilar, (<http://gallica.bnf.fr>).

- Huygens, C., *De Motu Corporum ex Percussione*. Versión bilingüe: latín y francés, *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*, Martinus Nijhoff, La Haya, 1929.
- Kant, I., *Primeros principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*. Edición de Samuel Nemirovsky, UNAM, México, 1993.
- Leibniz, G. W., *Leibniz*. Edición de Francisco Larroyo, Porrúa, México, 1977.
- _____, *Discurso de metafísica*. Edición de Juan Marías, Alianza, Madrid, 1981.
- _____, *La polémica Clarke-Leibniz*. Edición de Eloy Rada, Taurus, Madrid, 1980.
- _____, *Observaciones críticas sobre la parte general de los principios cartesianos en Principios de filosofía*, en Descartes y Leibniz, *Sobre los principios de la Filosofía*. Edición de E. López y M. Graña, Gredos, Madrid, 1989.
- _____, *Philosophical Papers and Letters*. Edición de L. E. Loemker, D. Reidel Publishing, Dordrecht-Boston, 1976.
- Mach, E., *The Science of Mechanics*. Edición de T. McCormack y K. Menger, The Open Court Publishing, Illinois, 1960.
- Maxwell, J., *Materia y movimiento*. Edición de Diódoro Guerra, IPN, México, 1998.
- Newton, I., *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton*. Edición de A. R. y M. B. Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- _____, *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy and related Documents*. Edición de B. Cohen, Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts, 1958.

- _____, *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Edición de B. Cohen y A. Koyré, Harvard University Press, E.U.A., 1972.
- _____, *Opticks: A Treatise of the Reflections, Refractions and Colours of Light*. Edición de B. Cohen, Dover Publications, Nueva York, 1979.
- _____, *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Edición de Antonio Escohotado, Tecnos, Madrid, 1997.
- _____, *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, en la traducción de Emilie Breuteil, Marquesa del Châtelet. Versión facsimilar, Editions Jacques Gabay, Paris, 1990.
- _____, *The Principia*, en la traducción de Andrew Motte. Edición de N. W. Chittenden, Prometheus Books, Nueva York, 1995.
- Voltaire, *Candide ou l'optimisme*, Librairie Générale Française, Francia, 1983.
- _____, *Lettres Philosophiques*, Flammarion, Paris, 1984.

Estudios

- Abbagnano, N., *Diccionario de filosofía*, FCE, México.
- Alatorre, A. "El latín vulgar" en *Los 1001 años de la lengua española*, FCE, México, 2002.
- Arana, J., "La doble significación científica y filosófica de la evolución del concepto de fuerza de Descartes a Euler", *Anuario filosófico*, vol. 20, 1987.
- Blanco, V., *Diccionario latino-español, español-latino*, Aguilar, Madrid, 1952.

- Beltrán, A., *Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid, 1998.
- Benítez, L., "Consideraciones metodológicas en torno a la historia de la filosofía en el Renacimiento", *Diánoia*, vol. 29, UNAM, 1983.
- _____, *Descartes y el conocimiento del mundo natural*, Porrúa, México, 2004.
- _____, "Percepción sensible y conocimiento del mundo natural en René Descartes", *Diánoia*, vol. 44, UNAM, México, 1998.
- Benítez L. y J. A. Robles, *De Newton y los newtonianos: entre Descartes y Berkeley*, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina, 2006.
- _____, *La filosofía natural en los pensadores de la modernidad*, UNAM, México, 2004.
- Burt, E. A., *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, Dover Publications, Nueva York, 2003.
- Cantoral R. y R. M. Farfán, *Desarrollo conceptual del cálculo*, Thompson, México, 2004.
- Chalmers, A., ¿Qué es esa cosa llamada ciencia?, trad. E. Pérez Sedeno y P. López Mañez, Siglo XXI, México, 2001.
- Cottingham, J., *A Descartes Dictionary*, Blackwell, Oxford, 1993.
- _____, *Descartes*, trad. Laura Benítez et al, UNAM; México, 1995.
- Dobbs, B., *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975.
- Dugas, R., *A History of Mechanics*, Dover Publications, Nueva York, 1958.
- Dunham, W., *The Mathematical Universe*, John Wiley and Sons, E.U.A., 1994.
- Echeverría, J., *Leibniz*, Barcanova, Barcelona, 1981.

- Fontanillo, E., *El Diccionario Etimológico Latino y Español*, Anaya, Madrid, 1985.
- Feynman, R., *El carácter de la ley científica*, trad. Antoni Bosch, Tusquets, Barcelona, 2000.
- Gabbey, A., "Force and Inertia in the Seventeenth-Century Dynamics", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2, 1971.
- _____, "Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton" en S. Gaukroger (ed.), *Descartes' Philosophy, Mathematics and Physics*, Harvester Press, Sussex, 1980.
- _____, "Newton, Active Powers, and the Mechanical Philosophy" en *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- Garber, D., *Descartes' Metaphysical Physics*, The University of Chicago Press, Chicago, 1992.
- _____, "Leibniz: Physics and Philosophy" en *The Cambridge Companion to Leibniz*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Gjertsen, D., *The Newton Handbook*, Routledge and Kegan Paul, Londres-Nueva York, 1986.
- Gueroult, M. "The Metaphysics and Physics of Force in Descartes" en S. Gaukroger (ed.), *Descartes' Philosophy, Mathematics and Physics*, Harvester Press, Sussex, 1980.
- Hacyan, S. "El mundo como representación matemática" en J. Martínez y A. Ponce de León (coords.), *El saber filosófico antiguo y moderno*, Siglo XXI, México, 2007.

- _____, "Y dónde está la fuerza en la física moderna?" en L. Benítez, J. A. Robles y A. Velázquez (coords.), *Fuerzas y dinámica: de la metafísica a la física*, UNAM-FES, México, 2007.
- Henry, J., "Newton, Matter and Magic" en *Let Newton Be!* Edición de J. Fluvel, R. Flood, M. et al, Oxford University Press, Inglaterra, 1989.
- _____, "Occult Qualities and the Experimental Philosophy: Active Principles in the Newtonian Matter Theory" en *Essays on Early Modern Philosophers from Descartes and Hobbes to Newton and Leibniz*. Garland Publishing, Londres y Nueva York, 1992.
- Herrera, A., "Leibniz y el concepto de materia" en L. Benítez y J. A. Robles (coords.), *El concepto de materia*, Colofón, México, 1992.
- Hesse, M., *Forces and Fields. The Concept of Action at a Distance*, Dover Publications, Nueva York, 2005.
- Iltis, C. "D'Alembert and the *Vis viva* Controversy", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 1, 1970.
- Laudan, L. "The *Vis viva* Controversy, a Post-Mortem", *Isis*, vol. 59, 1968.
- Jaeger, W., *La teología de los primeros filósofos griegos*, FCE, México, 1998.
- Jammer, M., *Concepts of Force*, Harvard University Press, Massachusetts, 1999.
- _____, *Concepts of Space*, Dover Publications, Nueva York, 1993.
- Kenney, A., *Descartes: A Study of his Philosophy*, Random House, Nueva York, 1968.
- Koyré, A., *Del mundo cerrado al universo infinito*, trad. Carlos Solís, Siglo XXI, México, 1998.

- _____, *Estudios de historia del pensamiento científico*, trad. E. y E. Bustos, Siglo XXI, México, 2000.
- _____, *Estudios galileanos*, trad. Mariano González, Siglo XXI, Madrid, 1998.
- _____, *Pensar la ciencia*. Edición de Carlos Solís, trad. Antonio Beltrán, Paidós Ibérica, Barcelona, 1994.
- Lynes, J., "Descartes' Theory of Elements: from *Le Monde* to the *Principes*". *Journal of the History of Ideas*, vol. 43, 1982.
- Manuel, F., *Isaac Newton Historian*, Harvard University Press, Massachusetts, 1963.
- Mamiani, M., *Introducción a Newton*, trad. José M. Pascual, Alianza, Madrid, 1990.
- Mc Mullin, E., "¿Es activa la materia?" en L. Benítez y J. A. Robles (coords.), *El concepto de materia*, Colofón, México, 1992.
- Nudler, O. "¿Progreso en filosofía?" en *Filosofía natural y filosofía moral en la modernidad*, UNAM, México, 2003.
- Papp, D., *Historia de la física*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1945.
- Radelet de Grave, P., *Puf Dictionnaire européen des lumières*, (www.yahoo.com -2005-).
- Real Academia Española: *Diccionario de la Lengua Española*, Espasa, España, 2001.
- Rey Pastor, J. y J. Babini, *Historia de las matemáticas*, Gedisa, Barcelona, 2000.
- Rioja, A. y J. Ordoñez, *Teorías del universo II. De Galileo a Newton*, Síntesis, Madrid, 1999.

- Robles, J. A., "Cuatro cartas de Sir Isaac Newton al Doctor Bentley que contiene algunos argumentos a favor de la existencia de una deidad (1692-1693)", *Diánoia*, vol. 44, UNAM, México, 1998.
- _____, "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.
- Rossi, P., *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*, Crítica, Barcelona, 1998.
- Russell, B., *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz*, George Allen & Unwin, Northampton, 1964.
- _____, *ABC of Relativity*, Unwin Paperbacks, Londres, 1977.
- Selles, M. y C. Solís, *Revolución científica*, Síntesis, Madrid, 1994.
- Shapin, S., *La revolución científica*, trad. José Romo, Paidós, Barcelona, 2000.
- Shea, W., *La magia de los números y el movimiento*, trad. Juan Pedro Campos. Alianza, Madrid, 1993.
- Struik, D., *Historia concisa de las matemáticas*. Traducción de Pedro Lezama, IPN, México, 1998.
- Snobelen, S., "Isaac Newton and Socinianism. Associations with a greater heresy" (www.newtonproject.ic.ac.uk –2004-)
- _____, "God of Gods, and Lord of Lords": the Theology of Isaac Newton's General Scholium to the *Principia*. (www.newtonproject.ic.ac.uk –2004)
- Terral, M., *The Man Who Flattened the Earth*, The University of Chicago Press, Chicago, 2006.

Torretti, R., *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.

Westfall, R.S., *Force in Newton's Physics*, Macdonald, Nueva York, 1971.

_____, *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.

_____, *Isaac Newton: una vida*, trad. Menchú Gutiérrez, Cambridge University Press, Madrid, 2000.

Whittaker, E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Thomas Nelson and Sons, Londres, 1951.

Wilczek, F. "Whence the force of $F = ma$? I: Culture Shock", *Physics Today*, vol. 10, 2004. "Whence the force of $F = ma$? II: Rationalizations", *Physics Today*, vol. 12, 2004. "Whence the force of $F = ma$? III: Cultural Diversity", *Physics Today*, vol. 7, 2005.