
Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

EL MECANICISMO MODERNO
ANÁLISIS DE FILOSOFÍAS NATURALES DEL SIGLO XVII
A PARTIR DE UNA NOCIÓN TEÓRICA

Autor: Luis Salvatico
Director: Víctor Rodríguez
Codirector: Guillermo Ranea

La Plata, diciembre de 2002.

Dedico este trabajo a mi padres

Agradecimientos

A mis padres, porque la aventura intelectual que comencé veinte años atrás no habría sido posible sin el apoyo incondicional que ellos me procuraron.

A Darío, por ser quien más disfruta, padece y me alienta en esta aventura que hoy es mucho más que intelectual.

A Sergio Menna, por su compañía en tantas aventuras intelectuales.

A Víctor Rodríguez, por ser quien me señaló los lugares por los que yo decidí aventurarme.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL.....13

PARTE I: LAS MÚLTIPLES CARAS DEL MECANICISMO.....19

Capítulo I: DIFERENTES VERSIONES DE MECANICISMO 19

Mecanicismo atomista o corpuscularista 19

Mecanicismo maquinista..... 22

Mecanicismo mecánico..... 25

Mecanicismo matemático 27

Mecanicismo causal 29

Mecanicismo dinámico 30

Mecanicismo metodológico 32

Mecanicismo icónico 32

Conclusión 33

Capítulo II: EL MECANICISMO EN SU VERSIÓN MÁS PURA 35

Introducción 35

Mecanicismo puro: caracterización general 36

La materia y sus partes..... 36

La materia y sus leyes 37

Límites de la noción de mecanicismo puro..... 39

Mecanicismo puro: aspectos parciales..... 40

1. Distinción entre cualidades primarias y secundarias 40

2. Matematización de los fenómenos naturales 41

3. Modelización por medio de máquinas 42

4. El universo - máquina 42

5. Determinismo..... 43

6. Negación de la acción a distancia 44

7. El método de hipótesis 44

8. Naturalismo..... 45

9. Superfluidad del tiempo 46

PARTE II: EL MECANICISMO EN EL SIGLO XVII.....49

Capítulo III: EL MECANICISMO CARTESIANO 51

Introducción 51

Corpuscularismo y leyes del movimiento 51

Metafísica cartesiana: la identificación entre materia y extensión 54

Distinción entre cualidades primarias y secundarias 56

La geometrización del álgebra y la algebrización de la geometría 57

Metáforas mecánicas como explicación de fenómenos naturales..... 62

Universo máquina 64

Metodología mecánica 65

Negación de la acción a distancia 68

Eliminación del tiempo 69

Conclusión	69
Capítulo IV: GALILEO Y LA FILOSOFÍA MECÁNICA.....	71
Introducción.....	71
Teoría(s) de la materia.....	72
Cualidades reales y sensitivas.....	77
La matematización de la naturaleza: la ley de caída de los cuerpos.....	79
Máquinas ideales	86
Las tendencias naturales como forma de acción a distancia.....	87
Conclusiones.....	88
Capítulo V: EL MECANICISMO DE ROBERT BOYLE.....	89
Introducción.....	89
La filosofía corpuscular y el movimiento.....	89
Cualidades primarias y secundarias.....	91
El rol de la matemática en la descripción del mundo físico	92
Las metáforas mecánicas	94
Universo - máquina: el reloj de Estrasburgo	95
Límites en las explicaciones mecánicas: la gravedad.....	96
Metodología: la filosofía experimental.....	97
Causas finales	99
Consideraciones finales al capítulo	106
Capítulo VI: LA FILOSOFÍA MECÁNICA DE LOCKE	109
Introducción.....	109
Corpuscularismo, cualidades primarias y secundarias, y acciones mecánicas.....	109
La ‘ciencia perfecta de los cuerpos naturales’	112
La ‘ciencia perfecta de los cuerpos naturales’ reexaminada.....	114
Otros problemas en torno a la relación entre cualidades primarias y secundarias	116
Las analogías con máquinas	124
El universo - máquina.....	124
El método de hipótesis.....	125
Conclusiones.....	132
Capítulo VII: EL MECANICISMO DE ISAAC NEWTON.....	133
Introducción.....	133
Atomismo y leyes del movimiento	133
Las matemáticas del movimiento: el cálculo infinitesimal.....	139
El <i>status</i> ontológico de la acción a distancia	142
Metodología.....	146
Tiempo absoluto	150
Conclusiones.....	151
PARTE III: ALGUNOS DESARROLLOS POSTERIORES DEL MECANICISMO	153
Capítulo VIII: ASPECTOS DE LA MECÁNICA RACIONAL DEL SIGLO XVIII	155
Introducción.....	155

La mecánica de las fuerzas puntuales de Euler	155
La dinámica de D'Alembert	156
Lagrange y la mecánica analítica	157
Laplace y la mecánica celeste	159
Conclusión	160
Capítulo IX: LOS "PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA" DE HERTZ	161
Introducción	161
La mecánica	161
El trabajo de Hertz desde la perspectiva del mecanicismo puro	163
CONCLUSIONES GENERALES.....	165
El mecanicismo del siglo XVII a la luz del mecanicismo puro	166
Tres versiones de mecanicismo.....	168
Potenciales desarrollos de esta investigación.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171

Historiadores respetables han dicho alguna vez que la suerte de 'reconstrucción racional' intentada aquí es una caricatura de la historia real —del modo en que las cosas ocurrieron realmente—, pero igualmente podría decirse que tanto la historia real como el modo en que las cosas ocurrieron realmente sólo son caricaturas de la reconstrucción racional.

Imre Lakatos

Las categorías utilizadas por los historiadores en sus debates no son las categorías de los autores. Son categorías estructurales anacrónicamente impuestas, construidas con el fin de ordenar la complejidad. En la mayoría de los casos, el orden impuesto se relaciona con la visión del historiador respecto de la esencia misma de la ciencia moderna.

Peter Machamer

INTRODUCCIÓN GENERAL

‘Mecanicismo’, ‘filosofía mecánica’, ‘filosofía mecanicista’ o ‘concepción mecánica de la naturaleza’ son expresiones habituales en escritos de historia de la filosofía, historia de la ciencia, filosofía de la ciencia y hasta en ilustraciones históricas y divulgativas de libros de texto de diferentes disciplinas científicas. Expresado en forma general, estas expresiones suelen hacer referencia a cierta doctrina filosófica que se desarrolla fundamentalmente en el siglo XVII y a la que se considera directamente asociada con el surgimiento de la denominada ‘revolución científica’ en general y con la ‘ciencia moderna’ en particular.¹

Las expresiones anteriores — lejos de tener un significado definido y preciso— poseen caracterizaciones muy disímiles y hasta contradictorias. Así por ejemplo, un grupo importante de autores coincide en señalar que la característica principal del mecanicismo moderno fue la descripción de los fenómenos naturales por medio de dos elementos básicos, la materia y el movimiento, a la vez que señala al mecanicismo cartesiano como el ejemplo más representativo de esta escuela.² Desde una perspectiva opuesta, otro grupo no menos importante concuerda en señalar los *Principia Mathematica* de Newton y a las fuerzas atractivas que actúan a distancia como el fruto más acabado de la doctrina mecanicista.³ Ahora bien, es claramente conocido que ambos sistemas, el cartesiano y el newtoniano, a pesar de tener muchos elementos en común, se oponen en cuanto a la aceptación de la fuerza gravitatoria como elemento primario de una ontología o teoría de la materia.

Las distintas caracterizaciones del mecanicismo tampoco concuerdan respecto de los antecedentes históricos de esta doctrina. Algunos autores refieren a Arquímedes (y al resurgimiento de su obra durante el siglo XVI) como el antecedente inmediato del mecanicismo.⁴ Otros autores afirman que fue la combinación entre atomismo y cristianismo lo que permitió el nacimiento de la nueva filosofía,⁵ en tanto que otro grupo no menos importante de autores señala tanto al atomismo de Demócrito como

¹ La distinción entre revolución científica y ciencia moderna corresponde con la distinción que existe entre ciertos acontecimientos históricos y el producto epistémico surgido de ellos. El mecanicismo no sólo se asocia con el producto de la época sino con aspectos de la revolución científica tales como el creciente auge de la experimentación, la combinación de los conocimientos artesanales y teóricos, la creación de sociedades científicas, etc.

² Por ejemplo Dijksterhuis, quien comentando un pasaje del *Traité de la Lumière* de Descartes, afirma: “la física cartesiana es estudiada por medio *des raisons de mécanique*; [y] es por esta razón, mecanicista. Esta física no usa otros principios explicativos que no sean los conceptos utilizados en mecánica: conceptos geométricos tales como forma, tamaño y cantidad, los cuales son usados tanto en mecánica como en matemáticas, y movimiento, concepto que es su objeto específico de estudio. [La física cartesiana] reconoce como realmente existentes en la naturaleza, sólo aquellas cosas que pueden ser descriptas y explicadas por medio de estos conceptos.” [Dijksterhuis (1961): 414-5]

³ Por ejemplo Burtt, quien al analizar las tres importantes facetas de la concepción mecánica del mundo —la naturaleza esencial de la realidad, el concepto de causalidad y la doctrina del alma— menciona la influencia directa de la metafísica de Newton en cada uno de estos aspectos. [Cfr. (1960): cap. VIII]

⁴ [Koyré (1980): 71], entre otros tantos pasajes en los que afirma idéntica idea.

⁵ [Wallace (1989)]

al matematicismo de Pitágoras como las primeras doctrinas mecanicistas de la historia.⁶

Más controvertido aún es determinar el período en que el mecanicismo mantuvo su influencia como teoría de la naturaleza. Algunos autores consideran la aspiración de Maxwell de hallar un modelo mecánico de éter como uno de los últimos y más importantes intentos del mecanicismo clásico de erigirse en teoría de la naturaleza⁷. Otros autores señalan el descubrimiento de fuerzas eléctricas no centrales —por parte de Oersted— como uno de los primeros conflictos que enfrentó el punto de vista mecanicista⁸. Otros indican “la deficiencia de las interpretaciones mecánicas para explicar los fenómenos electromagnéticos” como la causa del desarrollo de la noción de campo de fuerzas, la cual define un tipo de teoría del todo incompatible con la mecánica clásica⁹. Del mismo modo se suele señalar el descubrimiento de las ondas electromagnéticas de Hertz como una refutación empírica del postulado de la acción instantánea a distancia que sostenía a la mecánica newtoniana.

De modo similar, las disciplinas que se enumeran bajo la influencia del mecanicismo son muchas y variadas. El predominio del mecanicismo se fue extendiendo en la medida en que su autoridad se afianzaba en el ámbito de las ciencias físicas. Descartes —por ejemplo— intentó explicar a partir de unos pocos principios mecánicos “todos los fenómenos naturales conocidos”, tanto los celestes como los terrestres. Boyle declaró que todos los fenómenos químicos y neumáticos eran —en principio— susceptibles de ser explicados por principios mecánicos. Los fenómenos biológicos también fueron expresados a partir de los principios del paradigma mecanicista, a punto tal que un significado muy difundido del término ‘mecanicismo’ afirma que los fenómenos de la vida sobre la tierra deben ser explicados en analogía con las explicaciones del funcionamiento de máquinas, evitando deliberadamente la apelación a entidades vitales. Llegando incluso más lejos, algunos autores señalan a disciplinas como la psicología y la sociología como campos en los cuales el mecanicismo dejó su impronta. Ahora bien, la variedad de disciplinas señaladas bajo el dominio del mecanicismo es otra fuente de indeterminación en la caracterización de esta doctrina.

Existen al menos tres especialidades relacionadas con la filosofía en las que el mecanicismo es objeto de estudio: la historia de la filosofía, la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia con sensibilidad histórica. Las caracterizaciones del mecanicismo emergentes de cada una de estas disciplinas es peculiar.

Uno de los principales objetivos de la historia de la filosofía es el de encontrar similitudes o afinidades en los aportes individuales de pensadores de una o diversas épocas. Uno de los problemas que el mecanicismo enfrenta en las caracterizaciones de la historia de la filosofía es que ciertas semejanzas que se encuentran en algunos

⁶ [Wiener (1932): 594], [Boas (1952): 434] y [Tamny (1990): 597].

⁷ Por ejemplo [Berkson (1985)] afirma que fue el convencimiento por parte de Maxwell de que la acción a distancia no era viable y su fe en las leyes de Newton lo que le condujo a su teoría mecánica de éter. Cfr. cap. VI.

⁸ Por ejemplo Mason [(1986): vol. 4: 116]

⁹ [D’Abro (1951): 70]

de sus defensores están completamente ausentes en otros. Así por ejemplo la utilización de matemáticas en la descripción de fenómenos naturales cumple un rol esencial en el pensamiento cartesiano aunque es prácticamente menospreciado en la filosofía de Bacon, otro filósofo considerado como mecanicista en alguna de sus acepciones. Otro problema adicional en el ámbito de esta disciplina es que algunos rasgos que se consideran esenciales en una interpretación no están igualmente desarrollados por los más conspicuos representantes del mecanicismo. Por ejemplo, dos categorías predominantes en las caracterizaciones del mecanicismo son la analogía con máquinas y la aceptación de explicaciones en términos de materia y movimiento. Estos dos rasgos se hallan en la doctrina mecanicista por antonomasia, el mecanicismo cartesiano, pero en tanto que el segundo tiene una función central en el pensamiento de Descartes, el primero dista mucho de poseer una posición clara y precisa en su obra.

La historia de la ciencia es otra de las disciplinas interesada en el tema del mecanicismo. Dado el continuo interés de los historiadores de la ciencia por la revolución científica y considerando la fuerte vinculación que el mecanicismo tuvo con este acontecimiento histórico, la filosofía mecánica ha sido un tema recurrente en investigaciones de este campo¹⁰. El mecanicismo en historia de la ciencia se concibe como la doctrina que pretendió fijar criterios de aceptabilidad de explicaciones de una inmensa diversidad de fenómenos físicos. Así por ejemplo, el mecanicismo en biología es sinónimo de la doctrina que concebía los fenómenos biológicos en analogía con máquinas y desechando cualquier principio activo o vital no mecánico. Uno de los problemas más importantes de las caracterizaciones del mecanicismo en historia de la ciencia es que en pocos casos se establece qué relaciones tienen los 'mecanicismos' peculiares de cada campo. Por ejemplo, muy esporádicamente se analiza cuál es la relación entre el mecanicismo como doctrina que explica por medio de analogías con máquinas (como el caso de la biología) y el mecanicismo como doctrina que acepta sólo materia y movimiento como elementos de una ontología (propia de la ciencia física).

El mecanicismo también ha sido tema de análisis de la filosofía de la ciencia. Dentro de la variedad de teorías de la ciencia que surgieron dentro de esta especialidad, fueron las doctrinas postpositivistas las que prestaron mayor atención al tema del mecanicismo. Las caracterizaciones de esta última doctrina en estas filosofías con sensibilidad histórica guardan ciertas similitudes entre sí. Así por ejemplo, Laudan (1977) identifica a la filosofía mecánica con cartesianismo, tradición de investigación que se opone al newtonianismo. El cartesianismo se caracteriza como la conjunción de una ontología matemática que sostenía que todos los cambios físicos eran cambios de cantidad y una metodología deductiva y axiomática, y el newtonianismo como la conjunción de una

¹⁰ La revolución científica ha sido el principal tópico de la historia de la ciencia en cuyo tratamiento aparece relacionado el tema del mecanicismo. Esto contrasta con la parquedad —y más justo sería decir ausencia— con la que aborda este tema una excelente historia de la mecánica como la de Dugas [Cfr. su (1988)]. No es el mismo caso el de [Mach (1949)], quien será tratado con cierto detalle en el primer capítulo de este escrito.

ontología atomista y una metodología inductiva.¹¹ Lakatos también distingue entre un programa de investigación mecanicista y el programa de investigación newtoniano¹² [Lakatos (1983): 66]. El primero concebía al universo como “un gigantesco mecanismo y un sistema de vórtices, en el que el empuje es la única causa del movimiento”, en tanto que uno de los postulados del programa newtoniano era la atracción entre los cuerpos a distancia. Del mismo modo, Kuhn también distingue entre un paradigma cartesiano y uno newtoniano. La nueva filosofía mecánica floreció —según Kuhn— a partir de los escritos científicos de Descartes y suponía “que el Universo estaba compuesto de partículas microscópicas y que todos los fenómenos naturales podían explicarse en términos de forma, tamaño, movimiento e interacción corpusculares” [Kuhn (1971): 77]. El paradigma newtoniano admitía la cantidad de materia como categoría ontológica fundamental además de adoptar la ley del cuadrado de la distancia como elemento básico para las descripciones físicas. A partir de estos breves comentarios podemos ver que, a pesar de haber cierta concordancia en la caracterización del mecanicismo dentro las mayores doctrinas postpositivistas, estas caracterizaciones no armonizan con la obtenida en otros campos del conocimiento.

Seguramente el análisis del mecanicismo no sea más dificultoso que una elucidación de cualquier movimiento filosófico de considerable amplitud. Si pensamos en casos como el neoplatonismo o el materialismo histórico —por sólo mencionar algunas corrientes de cierta importancia en la historia de la filosofía— se comprueba fácilmente que estas doctrinas no suelen ser reducibles a un conjunto de rasgos típicos y definidos. El mecanicismo o filosofía mecánica no es una excepción a esta regla.

Ante la falta de una definición unívoca de esta doctrina, se podría pensar que una estrategia para caracterizar al mecanicismo sería la de señalar las posibles semejanzas que puedan llegar a existir entre doctrinas mecanicistas de un determinado período. De este modo, un potencial recurso sería exponer las doctrinas que la literatura especializada reconoce como mecanicistas e intentar encontrar entre éstas ciertas similitudes o ‘aires de familia’¹³. Pero la estrategia anterior resulta inviable por diversos motivos, el principal de los cuales es que no existe en la literatura especializada acuerdo generalizado acerca de qué doctrinas han de clasificarse como mecanicistas. Si se considera la unión de todas aquellas teorías que la historia de la ciencia, la historia de la filosofía y la filosofía de la ciencia reconocen como mecanicistas, es dudoso que puedan encontrarse aires de familia en este amplio conjunto. Y ello es así pues lo que cierto autor considera como una

¹¹ En otra parte del trabajo, Laudan señala que la diferencia entre la tradición mecanicista cartesiana y la tradición de investigación newtoniana es que, aunque esta última admite la existencia de fenómenos de colisión, nos enseña que la mayoría de los procesos físicos dependen de algo más que los meros impactos entre partículas y los movimientos de éstas; en particular defiende el supuesto de que las interacciones entre cuerpos se producen a distancia. [(1977): 85]

¹² “...posiblemente el programa de investigación con más éxito que haya existido nunca” [Ibid.]

¹³ Me refiero aquí a la noción que Wittgenstein presenta en sus *Investigaciones filosóficas*, § 65 a 71. El autor introduce esta noción mediante el concepto de ‘juego de lenguaje’ e inmediatamente extiende el ejemplo al concepto de ‘juego’ en general. Según Wittgenstein, no existe algo así como la esencia de todos los juegos, aquello que hace que llamemos de esta forma a algunas actividades y objetos. Por el contrario sólo existen semejanzas o similitudes entre éstos. [Wittgenstein (1958): 31^e-34^e].

doctrina mecanicista por excelencia, otro autor la considera como una negación de los principios mecanicistas.¹⁴ Nótese que este problema no se da en el caso del lenguaje ordinario, ya que si bien se puede discrepar acerca de qué actividad se puede denominar –digamos por ejemplo– ‘juego’, es improbable que alguien califique a la misma actividad como ‘no-juego’.

En esta tesis seguiré una estrategia alternativa a la esbozada en el párrafo anterior. La estrategia consistirá en partir de una versión abstracta de mecanicismo –a la que denomino ‘mecanicismo puro’– y en deducir de dicha noción un conjunto de consecuencias. La conjunción de mi definición de mecanicismo puro y sus consecuencias constituirán una suerte de ‘centro fuerte’ a partir del cual evaluaré distintas doctrinas filosóficas del siglo diecisiete. Acto seguido analizo la filosofía natural de un conjunto de autores del siglo XVII, intentando ‘medir’ el grado de pureza de cada una de las doctrinas allí presentadas. De la aplicación de esta estrategia a casos particulares de filosofías naturales surge la tesis central de este trabajo, la cual puede expresarse del siguiente modo: una manera muy conveniente de caracterizar al mecanicismo del XVII es a partir de una noción teórica que exponga las relaciones conceptuales de un conjunto de tópicos en torno a esta temática, tópicos que aparecen como inconexos en la bibliografía secundaria existente. Más aún, hay fuertes indicios que permiten conjeturar que esta noción teórica de mecanicismo actuó como una especie de ideal al que aspiraron muchas doctrinas filosóficas del siglo XVII, a la vez que fue un punto de referencia en contra del cual se erigieron filosofías naturales alternativas y opuestas.¹⁵

Se espera que la estrategia de reconstruir algunos aspectos de la historia de la ciencia y la filosofía de un período de la historia tan singular, proporcione una elucidación más eficiente y coherente del mecanicismo de dicho período y salve al mismo tiempo inconvenientes historiográficos presentes en formulaciones alternativas.

Antes de pasar al contenido mismo del trabajo, quiero referirme al epígrafe de Imre Lakatos con el que abrí esta tesis. Es una hipótesis de este trabajo que la historia real de cualquier acontecimiento pretérito se asemeja a un *noumeno* kantiano y es por lo tanto incognoscible. Así, estando impedidos de alcanzar un conocimiento de la *cosa en sí*, el único conocimiento posible es a través de categorías conceptuales que informan la materia del conocimiento.

¹⁴ Este es el caso de la filosofía de Leibniz. Ésta será mecanicista o la negación del mecanicismo según la interpretación que se considere.

¹⁵ Me refiero aquí a concepciones dinámicas de la materia, es decir, ontologías que incluyan entidades tales como fuerzas a distancia, o que explicaban la substancia material como un emergente fenoménico de una entidad dinámica más básica.

PARTE I: LAS MÚLTIPLES CARAS DEL MECANICISMO

Capítulo I: DIFERENTES VERSIONES DE MECANICISMO

Tal como expresé en la introducción general, las caracterizaciones del mecanicismo presentadas por la literatura especializada son múltiples y disímiles. En este primer capítulo presento diversas versiones de mecanicismo que aparecen en la literatura secundaria contemporánea. Estas versiones de mecanicismo fueron extraídas de libros de textos y artículos de revistas especializadas de historia de la filosofía e historia de la ciencia, y las mismas se pueden considerar como el estado de la cuestión de la temática en torno al mecanicismo. La selección de los trabajos estuvo guiada por el criterio de las referencias cruzadas y los autores presentados son —a mi juicio— los más representativos dentro dicha temática.

La clasificación de los diversos tipos de mecanicismos se realizó de acuerdo con el rasgo prevaleciente en cada caracterización. En total se computaron ocho clases de mecanicismo y éstas son: mecanicismo atomista o corpuscularista, mecanicismo maquinista, mecanicismo mecánico, mecanicismo matemático, mecanicismo causal, mecanicismo dinámico, mecanicismo metodológico y mecanicismo icónico. Se debe aclarar que ninguna de estas clases es un compartimento estanco que niega o excluye a cualquier otra clase. Todo lo contrario, todas ellas guardan fuertes relaciones entre sí a pesar del hecho de que estas mismas relaciones raramente son explicitadas en la literatura secundaria.

La inclusión de estas caracterizaciones se convierte en una parte ineludible de este trabajo debido a que la divergencia en las imágenes de mecanicismo es no sólo la fuente de inspiración de este trabajo, sino que además se presenta como el principal problema que se desea resolver.

Mecanicismo atomista o corpuscularista

Una de las versiones más difundidas de mecanicismo es aquella que identifica esta doctrina con una ontología de corte materialista. Durante el siglo XVI se produjo un renacimiento de la filosofía atomista de Demócrito y Empédocles, expandida por los trabajos de Epicuro y Lucrecio. La mayoría de estas caracterizaciones señala no sólo el rechazo de la teoría aristotélica de las formas substanciales, sino la renovación que significó para la filosofía natural esta nueva teoría de la materia.

En un artículo hoy considerado clásico,¹⁶ Marie Boas caracteriza a la filosofía mecánica como la doctrina que ofreció una respuesta directa al problema fundamental de construir explicaciones adecuadas a la copiosa acumulación de conocimiento científico que comenzó a acumularse hacia el siglo XVII. Tanto la teoría aristotélica de las formas substanciales como la teoría democritea de las cualidades mecánicas se mostraron insuficientes a la hora de explicar este cúmulo de nuevas experiencias. De estas dos escuelas, el renacido atomismo se presentaba como

¹⁶ El artículo fue una revisión de la tesis doctoral de la señora Boas titulada "Robert Boyle y la filosofía corpuscular: un estudio de las teorías de la materia en el siglo XVII" y presentada en la Cornell University, en el año 1949.

más adecuado para dar cuenta de todos estos nuevos fenómenos. El desarrollo del antiguo atomismo griego produjo “teorías de la materia que se tornaron más sofisticadas y útiles a la temprana ciencia moderna que las teorías griegas, de las cuales el siglo XVII tomó su inspiración” [Boas (1952): 414]. Con la incorporación de los resultados obtenidos en la nueva ciencia de la mecánica, esta vieja doctrina se tornó más elaborada y fecunda, obteniéndose una doctrina que sirvió para explicar las propiedades de los cuerpos en términos antagónicos con las categorías aristotélicas vigentes.

En la sección del trabajo dedicada a las primeras filosofías mecánicas, Boas afirma que las explicaciones de Demócrito y Epicuro fueron ‘mecánicas’ ya que explicaban las propiedades de la materia en base al tamaño y forma de los átomos [*Ibid.*: 434]. También Gassendi supuso la existencia de átomos en el vacío y más aún, logró explicar algunas propiedades de los cuerpos en términos de tamaño, forma y movimiento de los átomos. Pero este pensador nunca intentó explicar algunas propiedades en términos de *variación* de este movimiento. Esta noción alcanzó un rol muy destacado en el nuevo tipo de explicaciones propuestas por filósofos naturales tales como Galileo, Beeckman y Bacon.

En la conclusión del trabajo, la autora afirma que “una filosofía mecánica verdadera” requirió de la introducción de una idea complementaria, a saber, que “el movimiento de las partículas podría afectar las propiedades de la materia que ellas componían” [*Ibid.*: 521]. Resalta de esta manera el avance que significó suponer que las ‘formas’ de los corpúsculos que forman la materia pueden alterar las ‘formas’ de otros corpúsculos con los que interactúan. Así, Boyle desarrolló una investigación acerca de las ‘formas’, en tanto que Newton realizó un estudio similar suponiendo la existencia de fuerzas interatómicas, repulsivas y atractivas.

También **Richard Westfall** caracteriza al mecanicismo a partir de la influencia que tuvo esta nueva teoría de la materia. El autor señala como corrientes dominantes del escenario donde se produjo la revolución científica del siglo XVII a la tradición platónico-pitagórica y a la filosofía mecanicista. La primera escuela suponía que el cosmos había sido construido conforme a principios de orden matemático y su cometido era descubrir las descripciones matemáticas exactas que expresaban la estructura última del universo. La filosofía mecanicista pretendía explicar los mecanismos ocultos que subyacen a los fenómenos, mecanismos que eran considerados como la causa de los fenómenos observables y que eran explicables en términos de materia y movimiento [Westfall (1980a): 13]. Según este autor, las explicaciones mecanicistas evitaban y se contraponían a las formas sustanciales aristotélicas, a la vez que mostraban una naturaleza transparente a la razón.

Westfall sostiene que cada corriente de pensamiento poseía métodos e ideales de conocimiento diferente, hecho que determinó cierto conflicto entre ambas. El ideal de conocimiento del mecanicismo era el de determinar los mecanismos que producen los fenómenos naturales particulares, los cuales utilizaban sólo cualidades ‘primarias’, ‘originales’ o ‘universales’. Vemos de este modo como el mecanicismo es caracterizado a partir de una postura ontológica particular y contrapuesto a un ideal de matematización.

Thomas Kuhn no es explícito en la caracterización de la filosofía mecánica del siglo XVII. De hecho, ni la expresión '*mechanical philosophy*' ni el término '*mechanism*' aparecen como entradas en los índices de la versión inglesa de su *Revolución copernicana*. A pesar de ello, Kuhn sí utiliza las expresiones '*atomism*' y '*corpuscular philosophy*' y en el último capítulo de la obra refiere a dos problemas cuyas soluciones forjaron la transición desde el cosmos heliocéntrico finito de Copérnico al universo infinito newtoniano. El primero de estos problemas fue planteado a la filosofía corpuscular en su relación con el copernicanismo y consistió en el problema de hallar la leyes que Dios había impuesto a los corpúsculos desde el mismo instante de la creación. Dichas leyes se pensaban como causantes del movimiento efectivo de todas las partículas. El segundo de estos problemas estuvo relacionado con el aspecto físico del copernicanismo y consistió en explicar el movimiento de los planetas. [Kuhn (1978): 313] Tanto Descartes como Kepler ofrecieron respuestas a estos problemas con sendos "modelos mecánicos de universo", el primero con un modelo corpuscular, el segundo a través de un modelo de fuerzas dinamizantes.

Según Kuhn, la concepción cartesiana del universo consideraba al cosmos como una *máquina corpuscular* regida por unas pocas leyes corpusculares específicas [*Ibid.*: 312]. A partir de un conjunto mínimo de tres leyes, Descartes pretendió explicar fenómenos tan disímiles tales como la luz, el movimiento de los planetas, la atracción gravitatoria y magnética, las mareas, o el fenómeno de la transparencia del vidrio. La multitud de fenómenos a explicar fue una de las causas que hizo fracasar al programa cartesiano. Así, la "nueva filosofía" —a la que Kuhn no califica explícitamente como mecánica— aparece en una primera instancia relacionada con la concepción corpuscular de universo.

Dentro de este mismo tipo de categoría, **Steven Nadler** caracteriza a la filosofía mecánica por sus requisitos de lo que aceptaba como explicaciones de los fenómenos naturales. Afirma:

El programa mecanicista fue asumido sobre las premisas de que todos los fenómenos naturales (no importa cuán complejos ellos sean), todas las propiedades sensibles e insensibles y las formas en que los cuerpos interactúan, pueden ser explicados causalmente en términos de disposiciones y movimientos (o reposo) de partículas de materia pequeñas e insensibles (corpúsculos) cada una de las cuales es caracterizada exclusivamente por ciertas propiedades fundamentales e irreducibles —forma, tamaño e impenetrabilidad. [Nadler (1998): 520]

Consecuencia de esta posición es que ciertas propiedades tales como el color, el olor, la viscosidad, la gravedad o el poder de atracción de ciertos cuerpos, son entendidos como resultado del movimiento y la posición de los corpúsculos fundamentales. Otra consecuencia es el carácter hipotético de esta filosofía: dado que las partículas son en principio imperceptibles, cualquier explicación de la causa mecánica de un fenómeno debe necesariamente ser más o menos hipotética; más aún, dado que cualquier mecanismo causal era inobservable de hecho, los mecanicistas podían a lo sumo postular su existencia y composición, demostrar su plausibilidad, y luego justificar porque era preferible a otra explicación posible [*Ibid.*: 521].

Según **Martin Tamny**, la filosofía mecánica surgió a partir de la reaparición del atomismo de Demócrito, Lucrecio, y Epicuro y constituyó una interesante alternativa

a la visión de mundo aristotélica que dominaba el siglo XVI [Tamny (1990): 597]. El autor menciona a Gassendi, Descartes, Hobbes, Galileo, Boyle, Newton y Locke entre los adherentes a esta doctrina y afirma que fueron estos autores quienes utilizaron la expresión ‘filosofía mecánica’ para hacer referencia tanto a su metodología, como a su ontología, es decir al punto de vista referido a qué propiedades, relaciones y entidades existen realmente. Según este autor, la nueva filosofía mecánica fue una rebelión contra el aristotelismo cristiano (principalmente en el estilo defendido por Tomás de Aquino) y contra la doctrina de las formas substanciales.

Considerada en forma general, la metodología asociada a la filosofía mecánica fue el método de hipótesis, método por medio del cual se proponían conjeturas acerca de las propiedades reales de los cuerpos, las que luego eran sometidas a pruebas por medio de rigurosos experimentos [*Ibid.*: 598]. Según Tamny, el mecanicismo construía sus explicaciones de forma reductiva: los procesos que tienen lugar al nivel elemental de los átomos o corpúsculos —en cuya producción sólo intervienen las cualidades primarias— son los causantes de los cambios observados a nivel macroscópico. A estos cambios observados se los identificaba como ‘propiedades secundarias de los cuerpos’, de las cuales se suponía que no poseían una existencia propia, sino dependiente del observador. El corpuscularismo fue la ontología ‘oficial’ de la filosofía mecánica y dentro de esta doctrina debe distinguirse entre los corpuscularistas estrictos y los atomistas.

Más allá de esta caracterización del mecanicismo, la tesis principal del trabajo de Tamny afirma que el mecanicismo realizó un fuerte ataque a los conceptos de ‘experiencia manifiesta’ y ‘demostración ocular’ mantenida por el aristotelismo. En su lugar, el mecanicismo estableció las prácticas de ‘interpretación de la experiencia’ y ‘regulación de la naturaleza por medio de experimentos’. Estas herramientas metodológicas fueron las responsables de buena parte de las predicciones atribuidas a este programa de investigación.

Mecanicismo maquinista

Un significado muy difundido del término ‘mecanicismo’ está asociado con la noción general de máquina y con otros elementos relacionados con esta noción. Estas versiones de mecanicismo recogen el importante rol que la ciencia del diseño y construcción de máquinas comenzó a adquirir durante el Renacimiento, a la vez que ponderan las nociones de inteligibilidad y eficiencia que comportaba la idea de máquina: en tanto que la máquina había sido construida por un artesano, su constructor poseía un conocimiento total y absoluto de su obra; y más todavía, la mayoría de las máquinas eran construidas con el fin de suplir y mejorar acciones humanas.

Dado que algunas de las metáforas utilizadas apuntaban a ir más allá de una mera analogía explicativa, diferentes versiones de mecanicismo suponen que tanto a nivel macroscópico como a nivel corpuscular existían mecanismos que funcionaban de forma similar a ciertas máquinas que producen determinados efectos. Así, es posible distinguir entonces dos versiones diferentes de mecanicismo dentro de esta categoría: una versión epistémica y una versión ontológica. Tanto una como la otra destacaban

a la noción de máquina para la descripción de la naturaleza.

E. J. Dijksterhuis es uno de los autores que adhiere a esta posición. Destaca el sentido que surge de relacionar al mecanicismo con la palabra griega ‘μηχανή’, vocablo con que los griegos designaban a las máquinas en general. De acuerdo con este sentido del término, una concepción mecánica de la naturaleza es aquella en la cual el universo físico es considerado como una gran máquina que, después de ser puesta en funcionamiento, realiza la labor para la cual fue diseñada. Según este autor, este significado de mecanicismo es coincidente con la concepción de mundo defendida por Boyle, para quien el funcionamiento del universo es comparable con el trabajo realizado por un reloj ingeniosamente diseñado [Dijksterhuis (1961): 495].

Según Dijksterhuis, esta última significación del mecanicismo es incompatible con la idea original del atomismo. El atomismo afirmaba que todos los procesos que ocurren en el mundo son esencial y absolutamente irregulares, es decir, movimientos puramente accidentales de partículas inmutables. El sentido de mecanicismo expuesto en el párrafo anterior presupone un creador consciente e inteligente del universo que además de haber creado el mundo le haya otorgado algún fin particular. En general, la concepción mecánica de mundo así entendida se contrapone a la concepción atomista de la naturaleza, y en particular a la noción democrítica de universo. Para este autor, si bien la física clásica mantuvo una concepción de mundo mecánica y finalista, las descripciones de las partes que forman la máquina no fueron en ningún sentido finalistas. Los fenómenos particulares fueron explicados como partes de una gran máquina, pero en la mayoría de los casos se obviaron las causas finales. Sólo el principio de economía de Fermat y el principio de mínima acción de Maupertuis fueron las excepciones a esta regla.

Según este sentido, el término ‘mecanicismo’ se presenta como antítesis del término ‘animismo’. Dijksterhuis piensa que la transformación esencial de la física aristotélica a la física clásica se debió al rechazo de un principio interno del cambio. En el caso de la física aristotélica este principio de cambio se interpretaba como un síntoma de vida, en tanto que en la física clásica se consideraban las causas externas a todos los movimientos [Cfr. *Ibid.*: 498].

Hugh Kearney señala tres tradiciones o paradigmas que convivían hacia la época en que se produjo la revolución científica: la orgánica, la mágica y la mecanicista [Kearney (1971):17]. La tradición mecanicista se basaba en una “visión de la naturaleza en la que la analogía dominante fue la máquina.” Según este autor, aquello que sorprendía a los científicos que trabajaban en esta tradición era la “regularidad, permanencia y predictibilidad del universo.” [*Ibid.*: 24]. Los planetas, el reino animal, y hasta los procesos de creación artística eran analizados en términos “mecánicos” y, más aún, el Dios cristiano era concebido como una especie de ingeniero.

Para Kearney, cada una de las tradiciones antes citadas se originó a partir de diferentes corrientes de pensamiento de la antigüedad clásica: el organicismo en la tradición aristotélica, la magia en la tradición neopitagórica, y el mecanicismo en la tradición atomista y arquimedea. Si bien tradicionalmente el interés por las analogías mecánicas de la tradición mecanicista fue asociada con el auge tecnológico del siglo XVI, Kearney afirma que ello no puede ser del todo correcto dado que las máquinas

existieron desde mucho tiempo antes de esta época. Los casos de la catapulta o de la ballesta –artefacto este último creado hacia el siglo XIII— ilustran acabadamente este punto. El cañón por su parte, fue un invento del siglo XVI, pero este aparato está lejos de ser modelo de comparación de los mecanismos subyacentes a los fenómenos. Para Kearney los orígenes del interés por las máquinas se relacionan con el resurgimiento de las obras de Arquímedes. Este sabio de Siracusa llegó a ser conocido en el Renacimiento gracias a las traducciones al latín realizadas por Tartaglia y Guidobaldo. La tradición arquimedea ensalzaba las analogías mecánicas pero a diferencia del platonismo, no le adscribía significación mística o religiosa. Más aún, su concepción mecánica de mundo chocaba frontalmente con la concepción organicista aristotélica.

De acuerdo con **R. Hooykaas**, el mecanicismo del siglo XVII tiene su origen en el Renacimiento y es consecuencia de una lenta penetración de los procedimientos e ideas de los ingenieros de la antigüedad en moldes más filosóficos y eruditos. La tradición de los ingenieros de la antigüedad (entre los cuales el autor incluye a Herón de Alejandría) mostraba una tendencia a hacer modelos de los eventos y las cosas naturales en los que se excluían expresamente las explicaciones de tipo teleológicas y se priorizaban las explicaciones análogas al funcionamiento de máquinas. De acuerdo a estos antecedentes, la filosofía mecánica sería una interpretación de la naturaleza consistente en “modelos e imágenes tomadas a partir de la mecánica más que a partir de los seres vivientes.” [Hooykaas (1987): 462].

En las conclusiones de su trabajo el autor afirma que la noción de ‘mecanización’ debe ser entendida en un “sentido más amplio que la formulación matemática de las leyes de la estática, la cinemática y la dinámica. Este concepto implica el uso de instrumentos mecánicos (no naturales, artificiales) en la investigación de la naturaleza, la supresión de una distinción radical entre lo natural y lo artificial, y la introducción de modelos mecánicos de fenómenos naturales.” [*Ibid.*: 471].

Hooykaas señala que la ‘mecanización’ proclamada por el mecanicismo alcanzó también al método, es decir, la filosofía experimental. Esta última doctrina combina de una manera equilibrada la razón y la experiencia; fue una especie de “empirismo racional” que eludía tanto los obstáculos de un racionalismo a ultranza como de un empirismo ingenuo [*Ibid.*: 471-2]. Es importante señalar que para Hooykaas, la relación entre mecanización y método no surge a partir de la idea de un procedimiento mecánico de análisis, sino a partir del hecho de que la combinación de razón y experiencia hizo posible el surgimiento de la ciencia moderna, la cual ensalzaba una concepción mecánica de la naturaleza.

En su análisis de la revolución científica, **Steven Shapin** defiende la idea de que lejos de existir algo así como una “esencia de la revolución científica”, es posible señalar criterios pragmáticos que ofrecen una explicación coherente de los cambios producidos en el conocimiento natural durante el siglo XVII. Shapin se centra en cuatro aspectos interrelacionados de los cambios del conocimiento acerca del mundo natural y en los medios por los cuales se logran dichos cambios: primero, la mecanización de la naturaleza, es decir, la creciente utilización de metáforas mecánicas en la explicación de procesos y fenómenos naturales; segundo, la despersonalización del conocimiento natural, evidenciada en descripciones de la naturaleza que utilizaban expresiones tales como ‘es realmente como’ (que

correspondió a una separación entre los sujetos y los objetos naturales de conocimiento); tercero, los intentos de mecanizar la producción del conocimiento con el fin de reducir los efectos disruptivos; y cuarto, la aspiración de utilizar el nuevo conocimiento natural con fines morales, sociales y políticos.

El primero y el tercer aspecto de la elucidación de Shapin de la revolución científica remiten a características que guardan directa relación con la noción de mecánica: las metáforas mecánicas de la naturaleza se hicieron en correspondencia con modelos de máquinas y la mecanización de los procedimientos de adquisición de conocimiento se concibieron como procedimientos automatizados. Shapin caracteriza entonces a la filosofía mecánica, como aquella filosofía natural que modeló la naturaleza sobre las características de una máquina y que fue elegida por los filósofos modernos como alternativa a la teología aristotélica. Más aún, la idea de explicar a la naturaleza como una máquina se hizo a expensas de violar uno de los principios básicos de la filosofía aristotélica, doctrina que distinguía claramente entre lo natural y lo artificial.

Shapin afirma que la noción de naturaleza como un artífice que ejecuta un plan no fue desconocida en la antigüedad y que en muchas oportunidades la misma naturaleza fue comparada con la noción de un arquitecto que construye una casa o un armador que forja una armadura. Pero los pensadores clásicos nunca pusieron ambas imágenes en el mismo plano. La naturaleza, aunque susceptible de cometer errores, era muy superior a los seres humanos y cualquier intento de parangonar a ambos fue considerado como inapropiado e incluso inmoral. Para el pensamiento tradicional, la idea de utilizar herramientas artificiales —bien para explicar, bien para interrogar el orden natural— fue desacreditado por ilegítimo.

Además, una característica distintiva del mecanicismo del siglo XVII fue el principio de que los seres “humanos pueden asegurar el conocimiento sólo de lo que ellos construyen manualmente o modelan en su mente.” [(1996):32] De todos los modelos de máquinas, Shapin señala que el arquetipo de explicación fue el modelo de reloj, y que indagar en la metáfora del reloj en la cultura de la temprana Europa “es trazar los principales contornos de la filosofía mecánica, y por consiguiente de mucho de lo que ha sido tradicionalmente construido como central a la revolución científica.” [*Ibid.*: 32].

Mecanicismo mecánico

Otra de las versiones más corrientes de mecanicismo se relaciona con la nueva concepción de movimiento en general y con los desarrollos alcanzados en la ciencia de la mecánica en particular. Durante aproximadamente veinte siglos, la ciencia del movimiento fue desarrollada casi exclusivamente bajo el paradigma aristotélico. El aristotelismo abordaba el tema del movimiento desde un punto de vista completamente cualitativo, distinguiendo entre movimientos naturales (alrededor, hacia o desde el centro del universo) y movimientos violentos. Pero a partir del siglo XVI comenzaron a surgir algunos puntos de vista alternativos sobre la base de los trabajos de ciertos comentaristas de Aristóteles (Thomas Bradwardine, Juan Filopón) y las conclusiones logradas en el marco del Merton College de Oxford (William de Heytesbury, entre otros). Los tratamientos cuantitativos del movimiento forjaron una tradición de investigación cuyos frutos más acabados aparecieron durante el siglo XVII en los trabajos de Kepler, Galileo, Descartes y Newton, por sólo nombrar a los

más importantes. La versión de mecanicismo a la que me refiero en este apartado destaca los logros de esta disciplina y los señala como la principal característica de esta doctrina.

También **D'Abro** caracteriza a las teorías mecanicistas como "aquellas en que las únicas magnitudes físicas consideradas son las características de la [ciencia de la] mecánica, por ejemplo, fuerza, momento, masa, esfuerzo y tensión" [D'Abro (1951): 61]. Una teoría que no esté restringida a este tipo de magnitudes se denominará 'no-mecánica' y las teorías no-mecánicas comprenden las teorías de campo y las teorías fenomenológicas tales como la termodinámica.

El autor distingue entre dos tipos de teorías mecanicistas, según ellas traten de medios continuos o discretos. La teoría de Fresnel del éter continuo y elástico, la teoría de la elasticidad son ejemplos del primer tipo, mientras que la teoría cinética de los gases del segundo. D'Abro indica como notable el hecho de que las teorías mecánicas hayan precedido a las teorías de campo y que las teorías de tipo corpuscular discreto hayan precedido a las continuas, a la vez que atribuye esta sucesión de tipos de teorías a diferentes causas, algunas de índole físico, otras de índole matemática. Entre las causas de orden físico señala el hecho de que la estructura de la materia fue concebida como corpuscular desde el tiempo de los antiguos griegos y que sólo durante el siglo XIX la materia fue considerada como continua [*Ibid.*: 68]. Entre las causas de orden matemático indica que sólo el desarrollo de herramientas adecuadas permitió el tratamiento de magnitudes continuas primero y teorías de campo después.

Otra de las caracterizaciones que vinculan al mecanicismo con la ciencia de la mecánica es la que presentan **G. Boido** y **E. Flichman**. Estos autores definen a la 'mecánica' como la disciplina "destinada a investigar qué les ocurre a los cuerpos cuando se ejercen acciones sobre ellos: cómo se mueven, cómo cambia la manera en que se mueven, cómo se deforman, cómo se disgregan, cómo se rompen, cómo se corrompen, cómo se equilibran." [(1996):2]. Sin el propósito de reconstruir la ciencia de la mecánica en las distintas épocas de la historia, esta definición les permite definir al mecanicismo como la doctrina según la cual "todo lo observable se explica por (se reduce a) alguna teoría mecánica". Una vez establecidas estas dos definiciones, los autores se lanzan a la tarea de "elucidar" el mecanicismo en el período que va desde Aristóteles hasta la crisis de la física de fines del siglo XIX. De este modo, los autores encuentran que Aristóteles no es un mecanicista según su definición de mecanicismo, ya que si bien este autor desarrolló una teoría mecánica, no aspiró a reducir todo lo observable a dicha teoría. Antes bien, Aristóteles favorece una imagen de mundo análoga a la de un organismo vivo, el cual posee una finalidad preestablecida hacia la cual tiende en su desarrollo.

Según estos autores, el 'mecanicismo clásico' sería la doctrina que "pretende reducir todo lo observable a [una] particular teoría mecánica de acciones de contacto entre átomos". La mecánica de las acciones de contacto explicaba los fenómenos naturales admitiendo exclusivamente interacciones producidas por el contacto de las partes de los átomos, sin suponer fuerzas que actuaran a distancia. Así, dentro del mecanicismo clásico, los autores distinguen dos subgrupos: el de los mecanicistas corpuscularistas —que admitían la existencia de corpúsculos o átomos que actuaban por el contacto de sus partes— y el de los mecanicistas maquinistas —que suponían

una mecánica de cuerpos rígidos o semirrígidos, articulados entre sí, entre los cuales se ejercían acciones por contacto [*Ibid.*: 5-6]. Según esta reconstrucción, el mecanicismo newtoniano constituye una variante de mecanicismo clásico en la cual se aceptan fuerzas a distancia. La teoría mecánica de Newton admitía tanto acciones de contacto como fuerzas gravitatorias a distancia y, en tanto que Newton confiaba en explicar todos los fenómenos de la naturaleza en términos de la teoría mecánica expuesta en los *Principia*, la filosofía natural newtoniana también puede considerarse como mecanicista.

Mecanicismo matemático

Entre las diversas versiones de mecanicismo no son menos importantes aquellas que señalan el uso de las matemáticas como característica determinante. El uso de las matemáticas en la descripción de los fenómenos naturales era una suposición que ocupaba un lugar secundario dentro el paradigma aristotélico. Según esta doctrina, las matemáticas eran inapropiadas para una descripción de la realidad física en tanto que la realidad se componía de naturalezas cualitativas que eran incompatibles con el reino de la cantidad. No fue sino a partir de la reaparición de ideas conexas a la doctrina pitagórico-platónica del siglo XV que la posibilidad de analizar la naturaleza en términos cuantitativos cobró vigencia.

Existieron al menos dos maneras no incompatibles de justificar la utilización de las matemáticas en la descripción de la naturaleza: por medio de argumentos metodológicos o por argumentos metafísicos. Desde el punto de vista metodológico, se pensaba que las matemáticas eran una herramienta apta para el descubrimiento de nuevas verdades, en tanto que desde la metafísica se afirmaba que la estructura del mundo era esencialmente matemática. Esta última interpretación suponía una correspondencia entre las ideas matemáticas y la constitución última del universo y la posibilidad de concebir a la naturaleza con una estructura matemática subyacente.

En un trabajo considerado como clásico, A. Koyré analiza en detalle dos sucesos fundamentales en el establecimiento de la física clásica: el surgimiento del principio de inercia y el descubrimiento de la ley de caída de los cuerpos. Para este autor el mecanicismo sería la doctrina que permitió una descripción de la realidad física en términos geométricos, a partir de la influencia que tuvo el ideal de ciencia arquimedea. Las características primordiales de la física arquimedea fueron su carácter abstracto y su estilo matemático-deductivo. Ésta fue una “física de la hipótesis matemática; física donde las leyes del movimiento, la ley de caída de los graves son deducidas ‘abstractamente’, sin hacer uso de la noción de fuerza, sin recurrir a la experiencia de los cuerpos reales”. [Koyré (1980): 71] Defensor de una interpretación *a priorista* de la ciencia galileana, Koyré reafirma el carácter mental de los experimentos galileanos, únicos experimentos capaces de ser producidos en la época y los únicos admitidos en un espacio irreal geométrico.

Vinculados al establecimiento del ideal de física arquimedea, el mecanicismo también estaría asociado con “la geometrización del espacio y la disolución del Cosmos” [(1980): 5]. En estos sucesos el pensamiento occidental sustituyó el espacio concreto de la física pregalileana por el espacio abstracto e infinito de la geometría euclidiana. La ‘disolución del Cosmos’ se tradujo en una invalidación de los

razonamientos científicos que asumían consideraciones acerca de lugares naturales.

Según J. A. Bennett, el mecanicismo surgió a partir de la aplicación de los instrumentos matemáticos al ámbito de la filosofía natural. La “filosofía mecánica o corpuscular de la naturaleza –al menos tal como se ejercía en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVII— combinaba la filosofía natural matemático-mecánica junto con un método experimental” [Bennett (1986): 1]. La filosofía natural matemático-mecánica distinguía entre cualidades primarias y secundarias y consideraba que el primer grupo de propiedades caracterizaba plenamente a los corpúsculos o partículas últimas de la materia; según esta misma doctrina, los fenómenos sensibles surgían a causa de la pura interacción mecánica entre estas partículas. El método experimental abogaba por una actitud intervencionista (y no meramente experiencial) en el análisis de la naturaleza, intervención que debía realizarse por medio del uso de instrumentos de la filosofía natural.

Según este autor, existía una clara distinción entre filosofía natural y ciencias matemáticas. La filosofía natural incluía descripciones causales y comprensiones teóricas del mundo natural y elaboraba explicaciones de fenómenos naturales que pueden considerarse como antecedentes de nuestras explicaciones científicas. Las ciencias matemáticas comprendían el desarrollo de técnicas matemáticas que, de aplicarse a casos particulares, tenían como objetivo una utilidad práctica más que la comprensión clara de algún aspecto de la naturaleza. Las ciencias matemáticas del siglo XVI y XVII englobaban diferentes niveles de abstracción y se practicaban por medio de un conjunto de instrumentos que eran mayormente utilizados en la práctica de la navegación y la agrimensura. Entre estos instrumentos se pueden mencionar astrolabios, cuadrantes, sextantes, grafómetros, mesas planas, teodolitos, esferas armilares, sectores, compases y cadenas de agrimensores, etc.

La tesis general del trabajo afirma que los anteriores instrumentos –propios de las ciencias matemáticas— pudieron ser aplicables a la filosofía natural sólo gracias a un cambio –implícito o explícito— en los presupuestos de dicha filosofía. Más aún, sólo a partir del hecho de que la filosofía natural fue incorporando los presupuestos de la filosofía mecánica y el mundo natural comenzó a ser considerado como una máquina, ese mismo mundo pudo ser analizado a través de las técnicas de los mecánicos o los practicantes de las ciencias matemáticas. [*Ibid.*: 3]. En lo que se refiere al uso de instrumentos, las ciencias matemáticas fueron precursoras de la filosofía experimental; en tanto que los aspectos metafísicos de la teoría de la materia –otro de los pilares de la filosofía mecánica— ocuparon un lugar insignificante en las categorías conceptuales con que trabajaban los mecanicistas y sólo estuvieron restringidos a disquisiciones por parte de un grupo reducido de filósofos. En comparación, las categorías conceptuales con que los mecanicistas analizaban el mundo, poco tenían que ver con cuestiones metafísicas y sí estaban relacionadas con las nociones de las ciencias matemáticas.

En resumen, según Bennett, el surgimiento de la filosofía mecánica estuvo directamente relacionada con la práctica de las ciencias matemáticas en al menos dos aspectos: en los que se refiere a la aceptación de las propiedades geométricas como características esenciales de los corpúsculos y en la admisión estricta de interacciones mecánicas entre partículas. Más aún, las ciencias matemáticas fueron la

fuente de inspiración de la filosofía experimental, otro de los rasgos peculiares de la filosofía mecánica.

Mecanicismo causal

Otros de los múltiples significados del término ‘mecanicismo’ pondera la búsqueda de mecanismos causales como la característica primordial de esta doctrina. Una de las principales diferencias entre las explicaciones aristotélicas y mecanicistas fue la importancia conferida a las causas materiales y eficientes en desmedro de las causas finales del aristotelismo. Más aún, en su crítica a las cualidades ocultas y las formas substanciales, los mecanicistas destacaron la inteligibilidad subyacente en las explicaciones que explicitaban cómo eran causados los fenómenos naturales. En tanto que la mayoría de estos mecanismos causales se hacían en analogía a mecanismos tomados de la experiencia ordinaria, el mecanicismo se encargó de resaltar la mayor inteligibilidad de esta estrategia.

Entre los varios sentidos del término ‘mecanicismo’ **Dijksterhuis** también señala la búsqueda de los mecanismos causales que producen los fenómenos de la naturaleza. En tanto que los mecanismos subyacentes no eran directamente perceptibles, los filósofos mecanicistas consideraron que los mismos eran producidos en forma similar a cómo las máquinas ejecutaban sus acciones. Según este autor “la consecución de este objetivo fue, y es, considerada como la característica esencial de la ciencia clásica y es el *verdadero* significado del adjetivo ‘mecanicista’.” [*Ibid.*: 497, itálicas mías]. Dijksterhuis aclara que además de máquinas simples tales como palancas, poleas o fulcros, los mecanicistas adoptaron otros mecanismos de acción tales como el fenómeno de choque o el movimiento en vórtices de partículas.

W. Windelband caracteriza a “la filosofía mecánica de la naturaleza” a partir de la búsqueda de mecanismos causales de los fenómenos naturales. El autor afirma que esta doctrina “consideraba a la naturaleza como un complejo autónomo de movimientos, en la cual todo hecho es una consecuencia natural de sus causas y a su vez punto de partida de otros efectos inevitables producidos según leyes determinadas.” [(1951):227]. Dado que las consideraciones teológicas no estaban contempladas en esta concatenación de fenómenos naturales, este hecho motivó fuertes debates en torno a la conciliación de los principios causales de la ciencia natural y el poder de un gobierno del mundo conforme a leyes. Uno de estos debates concernía a la posibilidad de atribuir todo el curso de los sucesos cósmicos únicamente a la conexión entre causa y efecto y de acuerdo a leyes naturales, o si era posible, al menos en parte, referirlo a fuerzas activas e inteligentes. Durante el siglo XVII el terreno de lo inorgánico fue invadido paulatinamente por la concepción causal de la naturaleza y durante el siglo siguiente esta nueva concepción también impregnó el terreno del mundo orgánico. Dado que los organismos vivos eran entes que mostraban una clara finalidad, la disputa se centró en determinar si dicho fin resultaba explicable dentro del enfoque mecanicista.

Windelband opina que “la victoria del principio de la causalidad mecánica en la ciencia de la naturaleza inorgánica [se debió en parte] a los grandes descubrimientos de una ciencia especial, de la cual se tomó también el nombre para esta especie de consideración de la naturaleza: la mecánica.” [(1951):228]. Fue la ciencia de la

mecánica la que imprimió el carácter matemático a la filosofía natural del siglo XVII y entre sus principales cultores el autor señala a Kepler, Galileo, Descartes y Newton.

Mecanicismo dinámico

En un comentario a los *Principia* de Newton, C. Truesdell afirma: “en obras más tempranas los descubrimientos originales son como joyas ocultas en el seno de un fango de verborrea, minucias en exceso, metafísica, confusionismo y errores. Como contraste, la obra de Newton resulta una veta de oro puro.” [Truesdell (1975): 92]. Dado que esta obra puede ser considerada como el primer tratado general de mecánica en el que las propiedades principales del movimiento de cuerpos son deducidas desde principios fundamentales en forma deductivo-matemática, no son pocos los autores que caracterizan al mecanicismo a partir de la importancia de este trabajo.

En su siempre vigente ensayo¹⁷ histórico-crítico sobre el cambio de la visión del mundo desde la época medieval a los tiempos modernos, E. A. Burttt caracteriza a la concepción mecánica del mundo (*mechanical view of the world*) como aquella en la que el universo se concibe formado de átomos de materia que subsisten en un espacio infinito y un tiempo lineal y no cíclico. Más específicamente, las explicaciones mecanicistas “se formulan siempre en términos de pequeñas unidades elementales en relaciones regularmente cambiantes.” A esta afirmación el autor agrega el postulado de “que la causalidad última se hallará en el movimiento de átomos físicos” [Burttt (1960): 28]. De acuerdo con las últimas proposiciones, parecería que este autor sostiene una versión atomista de mecanicismo, en donde los átomos interactúan por el contacto directo. Pero en otra parte de su trabajo, este autor nos dice que la concepción mecánica del mundo favorece las explicaciones causales “únicamente en términos de *fuerzas* que se revelan en los movimientos expresables matemáticamente de la materia misma.” [Burttt (1954): 101; (1960): 110; *itálicas mías*]. Este tipo de explicaciones se opone tanto a las explicaciones teleológicas escolásticas, como a las concepciones organicistas del mundo.

Reforzando esta interpretación del mecanicismo, el autor señala en las conclusiones de esta obra que las explicaciones causales mecánicas consisten en “descomponer los hechos en los movimientos de las unidades de masa elementales de que están compuestos, y en establecer en forma de ecuación el comportamiento de grupos correlativos de acontecimientos” [Burttt (1960): 336]. Las explicaciones causales mecánicas son consideradas por este autor como instanciación de las ecuaciones matemáticas (*leyes generales*) a partir de las cuales se derivan (o predicen) eventos particulares. Por supuesto que Burttt considera que el paradigma de estas leyes naturales son las ecuaciones newtonianas del movimiento.

También Kuhn sugiere una caracterización del mecanicismo relacionada con

¹⁷ Es importante mencionar que a pesar de que la primera versión de esta obra data de 1924, esta obra sigue siendo utilizada como libro de texto en cursos de historia de la ciencia para estudiantes de grado (*undergraduate students*) en varias universidades norteamericanas. Una segunda edición apareció en 1931 y sólo correcciones menores fueron incluidas en ella. Fue sobre esta última versión que el Prof. Roberto Rojo hizo su traducción para la Editorial Sudamericana en 1960.

cuestiones dinámicas. Uno de los problemas cuya solución forjó la transición desde el cosmos heliocéntrico finito de Copérnico al universo infinito newtoniano, Kuhn señala el problema relacionado con el aspecto físico del copernicanismo. Este problema fue el de explicar el movimiento de los planetas [Kuhn (1978): 313]. En la física aristotélica, los movimientos naturales estaban dirigidos hacia el centro del universo o bien se realizaban alrededor de dicho centro. Por ser naturales, unos y otros estaban determinados por su relación con las distintas partes del espacio. En la propuesta copernicana un cuerpo como la Luna poseía un movimiento natural regido por varios centros móviles, los cuales —justamente por el hecho de ser móviles— fallaban en la posibilidad de actuar causalmente sólo en función de su posición geométrica. Una respuesta a este problema surgió a partir de la sugerencia de Kepler de que los movimientos planetarios no son naturales como declaraba la física celeste tradicional, sino violentos, es decir, producidos por una o más fuerzas. Para Kepler, esta fuerza era de tipo magnética y la denominó ‘*anima motrix*’. Según Kuhn, Kepler propuso de este modo el primer modelo de *universo mecánico*, que con el devenir del tiempo será reformulado y precisado en las propuestas de Borelli, Hooke y Newton. Esta solución constituyó la primera estructuración del sistema solar como mecanismo autónomo, similar en algunos rasgos a los modelos de máquinas ordinarias.

En forma similar a su exposición de la filosofía corpuscular, Kuhn no utiliza explícitamente el término ‘filosofía mecánica’, pero considera que un “sistema solar mecánico” es un sistema donde los movimientos planetarios son producidos por *fuerzas*, y son por lo tanto *forzados*. De lo cual se sigue que la filosofía mecánica tiene relación directa con el uso de la noción ‘fuerza’ que es característico de algunas filosofías naturales del siglo XVII.

Dijksterhuis también señala una significación del término ‘mecanicismo’ asociada con el desarrollo de la ciencia de la mecánica. Por ‘mecánica’ el autor entiende aquella parte de la física clásica que trata de los movimientos de los cuerpos materiales de acuerdo con las leyes de Newton. Este significado se diferencia de aquel que ligaba al mecanicismo con la noción de máquina, teniendo en cuenta el hecho de que a partir del siglo XVII la ciencia de la mecánica se fue convirtiendo lentamente en una parte de la física matemática que estudiaba el movimiento de los objetos materiales, emancipándose de la vieja concepción que veía en ella el diseño y construcción de máquinas [Dijksterhuis (1961): 497].

J. E. Turner afirma que el término ‘mecánica’ no debe confundirse con ‘mecanicismo’. El primero es un término científico que debe entenderse como sinónimo de ‘mecánica cruda’ o ‘newtoniana’. Turner toma prestada de Dingle una definición de ‘mecánica’ que posee un estricto significado científico: “Una construcción mecánica significa que la sustancia está formada de partículas con fuerzas actuando a lo largo de las líneas que las conectan y que dependen (las fuerzas) sólo de la distancia... las leyes de la mecánica están expresadas en términos de masa, espacio y tiempo.” [Citado en Turner (1940): 51].

‘Mecanicismo’ es un término filosófico y comprende la noción de que el universo está regido exclusivamente por las leyes de la mecánica newtoniana. De esta forma, una definición de mecanicismo afirmaría que “el mundo exterior consiste de partículas con fuerzas simples que actúan entre ellas y que dependen solo de la

distancia” [*Ibid.*: 50]. Pero la imagen de universo que surge a partir de fines del siglo XIX y se incrementa en el siglo XX, cesó de ser mecanicista en este sentido restringido. Fenómenos que no resultaban inexplicables según esta concepción mecánica (el fenómeno de la vida o la atracción del hierro por parte del imán) se mostraron renuentes a ser descriptos por las leyes de la mecánica entendida en sentido restringido. Todos estos fenómenos sólo lograron una explicación adecuada después del surgimiento de mecánicas tales como la mecánica ondulatoria, la cuántica, o la relativista.

Mecanicismo metodológico

Aunque menos frecuente que las versiones expuestas hasta el punto, algunos autores llegan a caracterizar al mecanicismo a partir de la mecanización de los medios de producción del conocimiento producida en este período. Varios autores del siglo XVII concibieron métodos que, aplicados a cierto conjunto de datos producirían, nuevos conocimientos. Dichos métodos se concebían como mecánicos en el sentido de que el resultado surgía automáticamente, sin la intervención de una mente creadora. Esta versión de mecanicismo era complementada con la aspiración de ofrecer explicaciones de los fenómenos naturales a partir de metáforas tomadas del funcionamiento de máquinas. Estas metáforas fueron particularmente útiles en la explicación de fenómenos de nivel macroscópico.

Entre los autores que resaltan esta característica del mecanicismo se encuentra **S. Shapin**, quien además de destacar el importante rol que jugaron las metáforas mecánicas en las descripciones del mundo natural, señala que uno de los cuatro aspectos del nuevo conocimiento producido en torno a la revolución científica fue el intento de mecanizar la producción del conocimiento. [Cfr. Shapin (1996): 89].

Mecanicismo icónico

El mecanicismo también ha sido caracterizado a partir de la capacidad de la inteligibilidad que se obtiene en los modelos icónicos. Este aspecto del mecanicismo está relacionado con la accesibilidad que presentan las máquinas simples que forman la base de modelos más complejos con los que se pretende describir el funcionamiento de fenómenos naturales. Es también **Dijksterhuis** quien señala esta característica del mecanicismo al afirmar que “la posibilidad de formarse una representación mental del fenómeno analizado...” es otro de los genuinos significados del carácter mecanicista de una teoría [*Ibid.*: 497]. Según este punto de vista, el concepto newtoniano de fuerza fue considerado como no-mecanicista en tanto que dicho concepto no se adecuaba a la necesidad de poder ser representado mentalmente.

Grayson-Smith también afirma que una de las características esenciales de un modelo mecanicista es la de poder ser descrito por medio de una imagen, lo que viene a significar que un modelo mecanicista se caracteriza por la propiedad de ser representable mentalmente. Según este autor, el fracaso del enfoque mecanicista en la explicación los campos magnéticos y eléctricos se debió al hecho de que estas entidades no eran delineables, es decir, nociones incapaces de ser descriptas por medio de imágenes. [Grayson-Smith (1969): 597 y sig.].

Conclusión

Las diferentes clases de mecanicismo ofrecidas en este capítulo son muestra palmaria del carácter vago y hasta ambiguo que esta doctrina tiene en la literatura secundaria contemporánea. Es por este motivo que en lo que sigue asumiré la tarea de ofrecer una caracterización de esta doctrina utilizando una estrategia particular. La estrategia y los objetivos a alcanzar se enuncian en el siguiente capítulo y constituyen el centro del argumento de este trabajo.

Antes de concluir este capítulo quiero hacer hincapié en el hecho que la vaguedad de la noción de mecanicismo constituyó la fuente de inspiración de este trabajo y su solución, un desafío.

Capítulo II: EL MECANICISMO EN SU VERSIÓN MÁS PURA

Introducción

En este capítulo presento una posición teórica que denomino ‘mecanicismo puro’. Esta posición procura ser un esquema conceptual con el que evaluaré al equívoco mecanicismo del siglo XVII. Siendo más exacto, este esquema me permitirá evaluar algunos autores del siglo XVII cuyos trabajos han sido considerados como mecanicistas, para alguna versión de mecanicismo. Adopto esta estrategia bajo el supuesto de que tanto la historia de la ciencia como la historia de la filosofía son disciplinas que requieren de un esquema teórico para procesar las fuentes históricas.

Esta noción es una elaboración personal, sugerida a partir de mis lecturas de filósofos naturales del siglo XVII y de autores contemporáneos que abordan esta problemática. Más específicamente, el mecanicismo puro tiene dos fuentes primarias de inspiración: la teoría de la materia cartesiana y el ideal de ciencia perfecta de los cuerpos naturales de Locke¹⁸. La ontología cartesiana admitía sólo un grupo reducido de propiedades en la substancia extensa, única substancia interviniente en los procesos naturales. La simplicidad y parsimonia de la doctrina cartesiana se contrapuso a la abundancia y a la oscuridad del hilemorfismo aristotélico. Respecto a la epistemología, opino que es Locke quien mejor vislumbró un ideal de ciencia acorde con los principios mecánicos de la materia. Locke concibió una ciencia *a priori* capaz de explicar los fenómenos naturales a partir de —y sólo en función de— las determinaciones mecánicas de los corpúsculos que forman los cuerpos interactúan en un evento. A pesar de que el mismo Locke declaró la inviabilidad de dicho ideal, hay motivos suficientes para afirmar que varios filósofos naturales del siglo XVII imaginaron una ciencia de la naturaleza con características similares a dicha ciencia.

El mecanicismo puro está formado de dos partes: un conjunto básico de postulados que caracteriza de modo general a esta doctrina, y un grupo de aspectos parciales que se desprende de dicha noción. La caracterización general arroja luz respecto de un centro firme de creencias en torno al mecanicismo del siglo XVII. Los aspectos parciales derivados de esta noción establecen conexiones conceptuales entre tópicos que aparecen habitualmente ligados a las elucidaciones del mecanicismo, pero que no siempre encuentran justificación en dichas descripciones. Más aún, cada uno de estos aspectos clarifica conceptos afines al mecanicismo mismo.

El hecho de que utilice el adjetivo ‘puro’ para calificar a esta posición requiere de algunas aclaraciones. Esta versión de mecanicismo es ‘pura’ en el sentido de que es ideal o teórica, aunque no en el sentido de que la teoría pueda ser lógicamente consistente, absolutamente inteligible o libre de contradicciones. Además, el adjetivo ‘puro’ se utiliza como sinónimo de simple, es decir, esta versión de mecanicismo es ‘pura’ en tanto que establece los requerimientos mínimos que la un conjunto importante doctrinas del siglo XVII asumieron como tales. Los requerimientos mínimos se refieren aquí a las condiciones de la ontología o teoría de la materia, a la

¹⁸ La idea de que los filósofos naturales del siglo XVII eran guiados por un ideal de conocimiento fue presentada por primera vez en [Salvatico (1998)].

forma general de las leyes del movimiento y al conocimiento que es posible alcanzar de los fenómenos naturales. Considerando esta segunda significación del término 'puro', resulta evidente que sería posible especificar diferentes tipos de 'pureza' para otras versiones de mecanicismo.

Mecanicismo puro: caracterización general

Lo que denomino 'mecanicismo puro' se caracteriza a partir de dos elementos: (a) una teoría acerca de qué entidades existen en la naturaleza y (b) un criterio general acerca del modo en que estas entidades interactúan. Ambos elementos, la ontología y el conjunto de leyes que rigen a las entidades, definen esta versión de mecanicismo. Paso a explicarlos separadamente.

La materia y sus partes

Desde el punto de vista ontológico, el mecanicismo puro afirma que el universo físico está compuesto de una materia única y homogénea. Esta materia es discontinua y granular, formada por corpúsculos o átomos extremadamente pequeños e indivisibles. Estas partículas son extremadamente pequeñas al punto de ser inobservables a simple vista; en este sentido son supuestas, es decir, no perceptibles por los sentidos ordinarios de los humanos sino postuladas como teóricas. La indivisibilidad de estas entidades mínimas es de tipo física; ello significa que en principio es posible pensar que cualquiera de estas entidades tiene partes —por ejemplo la mitad izquierda y la mitad derecha— pese a lo cual resulta imposible dividir las de hecho.

Los átomos o corpúsculos son absolutamente rígidos e impenetrables. La rigidez de estas partículas implica que las mismas no sufren deformaciones de ningún tipo. Cualquier partícula puede interactuar con otra partícula cualquiera, pero en dicha interacción ninguna de las dos cambia su forma exterior. La rigidez de las partículas tiene relación con el hecho de que son impenetrables. La impenetrabilidad de las partículas implica el hecho de que dos unidades nunca pueden ocupar el mismo lugar. Más aún, cuando dos unidades mínimas tienden hacia el mismo lugar, éstas se excluyen a partir de la superficie exterior de cada una de ellas.

Además de estas propiedades, cada una de estas unidades en que se divide la materia tiene asociadas otras dos: forma y tamaño. La forma de cada una de estas entidades se identifica con la superficie externa. Existe una infinidad de formas posibles para cada una de estas entidades mínimas, a pesar de que sólo un grupo reducido de formas posee denominación: aquellas cuyas formas coincidan con formas geométricas con nombre. Así, es posible que una entidad mínima tenga forma de cubo, esfera o pirámide triangular, como también es posible que su forma no se corresponda con ninguna forma geométrica definida. El tamaño es una característica relacional y se expresa mediante la referencia a otra entidad mínima cuyo tamaño se considera como unidad. Así, una entidad mínima cualquiera se dirá que posee un tamaño mitad, doble, o cuádruple que otra entidad mínima considerada unidad. Las entidades mínimas que forman la materia de esta versión de mecanicismo tienen un tamaño imperceptible a la percepción humana, y a pesar de ello puede decirse que cada una posee un tamaño determinado.

Complementando las propiedades anteriores, estas entidades son susceptibles de movimiento local o locomoción. El movimiento se define como la traslación de cualquier entidad desde una vecindad de una o más entidades consideradas en reposo hasta otra entidad o grupo de entidades también consideradas en reposo respecto del primero. Esta caracterización del movimiento hace del mismo algo relativo: aquello que se mueve siempre lo hace respecto de un marco de referencia elegido arbitrariamente. Ello a su vez significa que el movimiento o reposo de una partícula no tiene influencia alguna sobre su naturaleza o estado: dado que la elección del marco de referencia es arbitraria, de ello se sigue que una partícula puede estar moviéndose respecto de cierto sistema de referencia e inmóvil respecto de otro. Nótese que el movimiento definido como traslación constituye una propiedad geométrica de los corpúsculos y es por lo tanto susceptible de ser expresado en el mismo lenguaje en que se expresan las propiedades geométricas ordinarias, tales como la forma o el tamaño.

Llegado a este punto es necesario hacer una importante distinción. La definición de movimiento como traslación puramente geométrica no presupone la consideración de la variable temporal. Si defino al movimiento de esta manera es con el fin de intentar ser lo más claro y simple posible. La dimensión temporal del movimiento surge de considerar el tiempo transcurrido en el traslado del móvil de un lugar a otro y es una variable necesaria en la consideración de otras determinaciones del movimiento, tales como la velocidad o la aceleración. A fin de no ser restrictivo al punto de que ninguna filosofía natural cumpla con los criterios del mecanicismo puro, consideraré que los corpúsculos realizan sus movimientos en una dimensión temporal. De esta forma, las variables cinemáticas de velocidad y aceleración quedan admitidas como modos o determinaciones del movimiento de los cuerpos.

La materia y sus leyes

Hasta aquí he presentado la totalidad de las propiedades que caracterizan a las partículas que conforman la materia. El otro elemento que define al mecanismo puro es un conjunto de condiciones que determinan el modo en que estas entidades interactúan. Las condiciones o forma general de las leyes naturales es algo completamente diferente del contenido de dichas leyes. El hecho que presente las condiciones generales de las leyes que gobiernan la materia y no su contenido mismo surge de mi intención de ofrecer un marco teórico general para la evaluación histórica del esquivo mecanicismo del siglo XVII; con este esquema no pretendo especificar una filosofía natural particular, sino más bien presentar una noción muy general que actúa de marco de referencia para varias filosofías naturales de esta época.

Según el mecanicismo puro, las leyes que gobiernan a los corpúsculos de materia son homogéneas, inexorables y matemáticamente exactas. Más aún, es una condición necesaria que los corpúsculos de materia actúen sólo por contacto. Explicaré en detalle cada una de estas condiciones.

La homogeneidad a la que me refiero es equivalente a afirmar que existe una identidad en las leyes del movimiento que rigen los cuerpos físicos. Esto significa que el mismo conjunto de leyes que rige el movimiento de los cuerpos en el ámbito

macroscópico, rige el movimiento de las unidades mínimas de la materia. La negación de esta característica podría expresarse diciendo que cada región de la naturaleza tiene sus propias leyes naturales, y esta última proposición es completamente rechazada por el mecanicismo puro. La presente característica se refleja en el hecho de que cualquiera sea la expresión algebraica que caracterice a una ley natural, ésta no debe hacer distinciones para el tamaño del cuerpo. De este modo, una expresión algebraica que describa las trayectorias de dos partículas antes y después de una interacción debería en principio aplicarse a cualquier cuerpo sin importar su tamaño.

La inexorabilidad se afirma en el hecho de que las leyes que rigen el movimiento de las entidades mínimas de la materia tiene un carácter necesario. El punto puede ilustrarse a partir de una analogía con las propiedades de los cuerpos geométricos. En geometría, las propiedades de las figuras y sólidos se deducen necesariamente de la definición y de los axiomas del sistema. Así por ejemplo, de la definición misma de triángulo, se sigue necesariamente que la suma de los ángulos interiores es igual a dos rectos. En este caso el término 'necesario' alude al hecho de que no es posible que la suma de los ángulos de una superficie delimitada por tres rectas sea otra que dos rectos. De este modo, siendo las leyes del movimiento necesarias, las configuraciones de entidades mínimas se siguen inexorablemente unas de otras. En esta versión de mecanicismo, la configuración de entidades que determinan un fenómeno natural se deduce necesariamente de las propiedades de partes mínimas de los objetos que intervienen en el fenómeno más las leyes de movimiento correspondientes. O expresado en otras palabras, cuando las leyes de movimiento son aplicadas a una configuración particular de entidades mínimas de materia —con determinadas formas, tamaños y movimientos— se origina otra determinada configuración de entidades —con otras o las mismas formas, tamaños y movimientos.

La exactitud matemática guarda relación con la necesidad o inexorabilidad antes descrita pero agrega una característica adicional y es el hecho de que las mismas son accesibles a la capacidad cognoscitiva humana.

El conocimiento de las leyes que rigen la naturaleza más el conocimiento de las condiciones iniciales de cualquier sistema de cuerpos en un instante determinado permite —en principio— predecir el comportamiento que tendrá dicho sistema. Dado que la manifestación de estas leyes se realiza en el movimiento de los cuerpos, la predicción se refiere al movimiento y los modos del movimiento de cada uno de los cuerpos del sistema. De la inexorabilidad de las leyes del movimiento y de su aprehensibilidad por parte del sujeto se sigue otro elemento distintivo de esta versión de mecanicismo: el conocimiento de los fenómenos naturales que ofrece una filosofía natural alcanza el *status* de necesario. Dado que una explicación de un fenómeno natural consiste en una deducción del estado de una configuración de partículas a partir de una configuración o estado previo, esta versión de mecanicismo afirma entonces que la comprensión que en principio es posible de los fenómenos naturales es la misma que se alcanza en geometría.

Por último, una característica peculiar de las leyes de esta versión de mecanicismo es el hecho de que toda acción entre entidades se produce por medio del contacto directo entre ellas. Este contacto directo es, o bien por medio de un impacto o choque

entre entidades, o bien por una presión o empuje de unas sobre otras. El caso de choque entre dos partículas se ilustra a partir del clásico ejemplo de dos bolas de billar que colisionan. Las características del movimiento de cada una de las bolas es diferente antes y después del encuentro, y los cambios de estas características (en la dirección, la magnitud de la velocidad, etc.) sólo son posibles a partir del contacto entre ambas. El caso de la presión entre cuerpos se puede ilustrar a partir de ejemplo de una corriente de agua que arrastra al bote que está en ella. Las partículas de agua — con su movimiento con dirección, sentido y velocidad dados— empujan la popa de la nave y le imprimen el movimiento al resto de la embarcación. Nótese que entre uno y otro ejemplo sólo existe una diferencia de grado: en el primer caso la acción es instantánea y en el segundo es continua. De lo antes expuesto se sigue que cualquier teoría física acerca de una parcela de la naturaleza desarrollada dentro del marco de un mecanicismo puro no supone otra interacción física que no sea empujones o tirones entre cuerpos, además de una uniformidad e identidad de las leyes de movimiento.

Desde cierto punto de vista mi caracterización de mecanicismo puro se acerca al ideal euclídeo de sistematización deductiva. Según este ideal, la aplicación de razonamiento válido a un conjunto de axiomas que se consideran verdades evidentes produce otras verdades o teoremas. En el presente caso, las leyes del movimiento aplicadas a configuraciones de corpúsculos —con sus modos primarios— producen otras configuraciones diferentes, y ambos conjuntos de configuraciones son accesibles al conocimiento humano. Es igualmente cierto que la forma de explicación presupuesta por el mecanicismo puro es equivalente al tipo de explicación por subsunción del esquema nomológico-deductivo. El mismo se considera como una forma ejemplar de explicación de fenómenos naturales.

En resumen, el mecanicismo puro constituye un marco teórico caracterizado por dos tesis: una tesis ontológica que afirma que todos los cuerpos están formados por partículas de materia con ciertas propiedades específicas y que las causas de todos los fenómenos naturales son cambios en las configuraciones de dichas partículas; y una tesis epistemológica que afirma que es posible ofrecer explicaciones detalladas de esos cambios a partir de leyes que también cumplen un conjunto de condiciones específicas.

Límites de la noción de mecanicismo puro

La presente versión de mecanicismo está concebida como una doctrina cuyo dominio es el conjunto de todos los fenómenos naturales físicos, aunque el mismo no descarta ni asume la existencia de fenómenos naturales mentales. La versión no intenta solucionar el complejo problema de la materialidad o inmaterialidad de los procesos mentales, ni mucho menos dar respuestas a cuestiones tales como la causalidad entre sustancias o el problema del libre albedrío. El teatro de operaciones del mecanicismo puro es un mundo material, compuesto de corpúsculos gobernados por leyes inexorables y paralelo a este mundo material, el conocimiento de los detalles más mínimos de ese mundo es presupuesto, aunque el mecanicismo no sostiene a qué

tipo de substancia este conocimiento pertenece o es inherente.*

Esta definición de mecanicismo puro tiene un marcado acento pragmático en tanto es concebida como una herramienta conveniente al momento de hallar cierto orden en el laberinto de doctrinas mecanicistas del siglo XVII. Pero la misma no es una mera figura teórica carente de interés. Por el contrario, en los capítulos siguientes quedará evidenciado que este tipo de mecanicismo se presenta con diferentes matices en filosofías naturales de aquel período. Dado el calificativo de 'puro', las desviaciones respecto de esta versión se considerarán 'impurezas' en diferentes grados, pero estas impurezas no serán otra cosa que la afirmación de postulados no del todo acordes con este centro teórico.

Mecanicismo puro: aspectos parciales

De la anterior caracterización del mecanicismo puro se deriva una serie de aspectos parciales que, de una manera u otra, representan facetas complementarias de esta posición teórica:

1. Distinción entre cualidades primarias y secundarias

Una consecuencia directa de esta versión de mecanicismo puro es la distinción entre dos tipos diferentes de cualidades: aquellas enunciadas en la primera parte del apartado anterior y todo el resto de las propiedades observables en los cuerpos. Intentando ser fiel a una distinción usual en varias filosofías naturales del siglo XVII, llamemos 'cualidades primarias' a las del primer grupo y 'cualidades secundarias' a las del segundo.

Entre cualidades primarias se mencionaron la forma, el tamaño, la impenetrabilidad y el movimiento o el reposo, además de propiedades tales como la posición y la extensión. La característica distintiva de las cualidades primarias es que éstas son inseparables de la idea misma de cuerpo, cualquiera sea el tamaño de éste. Cualquier cuerpo finito tiene alguna forma y en comparación con otro cuerpo finito tiene un tamaño; respecto de un punto de referencia está en movimiento o reposo, y ante el encuentro con otro cuerpo tiende a rechazarse a partir de la superficie exterior de ambos.

Toda otra propiedad distinta de una propiedad primaria se considera una cualidad secundaria. Las propiedades cualitativas de la materia, tales como colores, olores, sabores, suavidad o aspereza, pesantez o liviandad, maleabilidad, fragilidad, etc., son casos de propiedades secundarias. Se considera que las cualidades secundarias no son inseparables de la idea de cuerpo en general. Antes bien, las propiedades secundarias son puramente fenoménicas o subjetivas, y se manifiestan como percepciones producidas a partir de diversas combinaciones de unidades mínimas en su interacción con nuestro aparato perceptual. Bajo la suposición de que los

* Al afirmar que una propiedad 'pertenece' o 'es inherente a' una substancia deseo expresar una idea que en el idioma inglés se enuncia por medio de la palabra '*inhere*'. Hasta fecha muy cercana a la entrega de esta tesis, no había encontrado en el idioma castellano una única palabra que refleje de modo adecuado a dicha idea. Fue Hernán Severgnini quien me señaló que el verbo '*inherir*' era un término aceptado en este idioma. Así, se puede decir que las propiedades *inhieran* en la substancia.

organismos perceptores fueran aniquilados, las cualidades secundarias cesarían de existir.

Desde el punto de vista epistemológico, las propiedades primarias se caracterizan por servir de base para las explicaciones de las propiedades no primarias (en conjunción con las leyes del movimiento), en tanto que la situación inversa no se da, es decir, las propiedades secundarias no se utilizan en las explicaciones de las primarias. Así por ejemplo, el calor puede explicarse por el movimiento más o menos violento de partículas diminutas que golpean nuestros órganos sensoriales, los que transmiten el estímulo hasta la mente perceptora. De forma análoga, el fenómeno 'fuego' puede explicarse por medio de un movimiento violento de partículas muy pequeñas, y su capacidad de calentar o calcinar a otras sustancias como la transmisión de este movimiento a las partículas que las forman. Dependiendo de la resistencia ofrecida a este movimiento, el cuerpo tenderá a calcinarse —como en el caso de la madera— o permanecerá inalterable —como el caso del hierro. Nótese que la situación contraria es inconcebible: un color o un sabor se consideran irrelevantes para explicar el tamaño o la forma de un cuerpo cualquiera.

Aparte de las propiedades sensibles, los cuerpos formados de corpúsculos manifiestan un tipo de propiedades susceptibles de cierto tratamiento matemático, propiedades tales como la flexibilidad o la elasticidad. El mecanicismo puro asume que el origen de estas propiedades reside en la disposición en la que se encuentran las partículas mínimas que conforman el cuerpo en los que la propiedad emerge.

La distinción entre cualidades primarias y secundarias y el carácter reductivo de las explicaciones de las segundas a las primeras son corolarios de la definición de mecanicismo puro y elementos fundamentales de varias filosofías naturales del siglo XVII.

2. Matematización de los fenómenos naturales

La presente caracterización de mecanicismo puro tiene una relación directa con las matemáticas. En primer lugar, las determinaciones de las unidades mínimas que componen la materia son matemáticas: el tamaño puede expresarse mediante una cantidad numérica, en tanto que la forma es una cualidad geométrica. El movimiento de las entidades mínimas, considerado como traslación de un lugar a otro, se puede concebir en términos de distancias recorridas, las cuales son magnitudes espaciales. Y más aún, la variable tiempo es también susceptible de matematizar por medio de una recta ilimitada, con cada uno de los lados representando el pasado y el futuro.

Las unidades mínimas de la materia se combinan, agrupan, fusionan y forman configuraciones de corpúsculos. Estas mismas configuraciones se disgregan, dividen, separan y forman a su vez otras configuraciones. Lo interesante de este punto de vista es que cualquier configuración de unidades mínimas conserva las mismas propiedades primarias que sus partes, es decir, tamaño, forma y movimiento o reposo y por ende, los cuerpos de tamaño medio son susceptibles de ser descriptos en lenguaje matemático.

De lo anterior se sigue que el objeto propio de cualquier filosofía natural es un mundo completamente desprovisto de aspectos cualitativos, el cual retiene sólo un

grupo reducido de características susceptibles de ser analizadas cuantitativamente. Por esta razón se puede afirmar que el teatro de operaciones de un mecanicista puro se asemeja a un espacio geométrico euclidiano poblado por cuerpos geométricos sólidos. Por ser las proposiciones geométricas afirmaciones válidas para cualquier tamaño de cuerpo, éstas son aplicables tanto al ámbito macroscópico de cuerpos visibles como al universo de pequeños corpúsculos.

3. Modelización por medio de máquinas

Esta versión de mecanicismo implica tanto la tesis ontológica fuerte de que los fenómenos naturales se producen de forma similar a como las máquinas producen los efectos para las que fueron diseñadas, como la tesis epistemológica de que los fenómenos naturales son susceptibles de describirse por medio de modelos de máquinas. En la idea de máquina¹⁹ se asume la existencia de algún tipo de equivalencia entre el funcionamiento del mecanismo y la descripción de dicho funcionamiento en un gráfico o dibujo. La forma y disposición de las partes, junto con los tipos de movimientos que éstas realizan, se consideran los responsables de que el artefacto produzca efectos particulares. Así por ejemplo, las formas de las partes que componen un molino de agua o de viento explican por qué, cuando los granos de trigo son colocados en determinado lugar del mecanismo y la corriente de agua pasa por otra parte, se sigue el efecto de que los granos se pulverizan. Las formas y los tamaños de las partes del molino —además del hecho de que dichas partes actúen sólo por contacto directo— determinan que el mecanismo opere de la forma en que lo hace.

Nótese que el tipo de comprensión que es posible lograr en la descripción del funcionamiento de una máquina es en parte similar a la comprensión que es alcanzable en el mecanicismo puro: el conocimiento de la forma y disposición de cada una de las partes que conforman la estructura de una máquina más el hecho de conocer de qué manera dichas partes se mueven, nos permite lograr una descripción del funcionamiento completo de la máquina. El punto anterior puede ser reformulado diciendo que en la descripción del funcionamiento de una máquina no intervienen otros elementos que no sean la forma, el tamaño y el tipo de movimiento de cada pieza, además del hecho de que se asuma que estas piezas son sólidas (es decir, impenetrables) y de que actúan por el contacto directo entre ellas.

En tanto que el mecanicismo puro afirma un compromiso ontológico particular y, en cuanto asume que los fenómenos naturales se originan en la interacción de los corpúsculos que forman la materia, la relación con un modelo de máquina es no sólo una analogía descriptiva, sino una equivalencia ontológica fuerte.

4. El universo - máquina

La noción de un universo - máquina se obtiene a partir de la extensión de los

¹⁹ Por máquina quiero significar aquí máquina mecánica, es decir una estructura que compuesta de algunas partes fijas y otras móviles, las cuales actúan sólo por el contacto entre ellas. Una catapulta, una prensa hidráulica, un taladro manual, una bomba de agua son ejemplos de máquinas del tipo que refiero aquí. Un cañón o una botella de Leiden, no lo son.

modelos de máquinas a todos los fenómenos de la naturaleza, es decir a todo el universo. A fin de precisar este aspecto parcial del mecanicismo puro, es necesario analizar un poco el término 'universo'.

Esta palabra posee al menos dos acepciones: una estática según la cual éste es la totalidad de las cosas que existen y otra dinámica que identifica al universo con la totalidad de los eventos pasados, presentes y futuros. Ahora bien, en tanto que mi caracterización de mecanicismo puro refiere a la estructura de los objetos del mundo, dicha noción está relacionada con la versión estática de universo. Pero en tanto que otro componente importante del mecanicismo puro es el tipo de leyes que rige el movimiento de la materia, esta misma noción posee una relación más directa con la acepción dinámica del universo

Para ilustrar el último punto consideremos un objeto particular del universo, digamos nuestra Luna. Dicho cuerpo posee ciertas propiedades, tales como ser un cuerpo opaco, sin atmósfera y con un determinado tamaño y forma. Dado que la totalidad de las propiedades pueden clasificarse como propiedades primarias o secundarias, mi noción de mecanicismo puro ofrece una respuesta a la descripción de dichas propiedades.

Por otra parte, desde el punto de vista dinámico la Luna se caracteriza por tener un determinado movimiento alrededor de nuestro planeta, por realizar una revolución sobre su eje en el mismo tiempo que tarda en dar un giro completo alrededor de nuestro planeta, etc. Todas y cada una de las propiedades que caracterizan a un cuerpo como la Luna se manifiestan en forma de fenómeno natural. Ahora bien, según se analizó en el apartado anterior, todos los fenómenos naturales son susceptibles de ser descritos por medio de un modelo de máquina y de este modo la descripción de la totalidad de los fenómenos del universo se logra a través de la conjunción de esas descripciones parciales.

La metáfora del mundo como máquina fue un aspecto importante de varias filosofías naturales del siglo XVII y en mi esquema de mecanicismo puro este aspecto encuentra una justificación y fundamento.

5. Determinismo

Según el determinismo, todos y cada uno de los eventos naturales son producidos por una causa y si todas las condiciones necesarias y suficientes que produjeron el suceso acaecieran, sería imposible que el suceso no se produzca nuevamente. Otra manera de formular la tesis anterior consiste en afirmar que el estado del mundo en un tiempo dado fija o determina el estado del mundo en cualquier tiempo futuro. O que el estado presente del universo ha sido fijado o determinado por estados pasados. Dado el carácter inexorable de las leyes que rigen el comportamiento de las entidades mínimas de la materia y el hecho de que son estas entidades mínimas las únicas causas de todos los fenómenos naturales, el determinismo resulta compatible con el mecanicismo puro.

En conjunción con la tesis de la cognoscibilidad de los estados del universo, el determinismo también afirma la posibilidad del conocimiento de cualquier hecho futuro o pasado. Así, el mecanicismo puro asume la idea de que a partir de la

descripción del estado del mundo en un tiempo particular y la especificación de las leyes naturales, cualquier otro estado del mundo, futuro o pasado, puede ser derivado por medio de una deducción o inferencia lógica. El paralelismo entre los sucesos del mundo físico y el conocimiento también puede expresarse por medio de un condicional: si se conociera el estado presente del universo (en todos sus detalles) y se conocieran las leyes que lo rigen, se podría conocer cualquier estado del mundo en cualquier tiempo futuro o pasado (en todos sus detalles).

Es evidente que la consecuencia del determinismo es tan sólo una tesis teórica acerca del funcionamiento general del universo. Mi noción de mecanicismo puro implica que una descripción que abarque toda la riqueza de los detalles de los fenómenos naturales es en principio posible, a pesar del hecho de que dicha tarea puede considerarse como una tarea altamente compleja o incluso evaluarse de irrealizable.

A pesar de que el determinismo surge como un aspecto derivado de mi versión de mecanicismo, la implicación contraria no es cierta, es decir, que un mecanicismo puro no se sigue necesariamente de una posición determinista. Y ello es así pues en un universo poblado de fuerzas inexorables actuando a distancia conformaría un caso de universo determinista que resulta incompatible con esta versión de mecanicismo.

6. Negación de la acción a distancia

Al describir la forma general de las leyes del movimiento decíamos que todas las acciones entre entidades mínimas se producen únicamente por algún tipo de contacto directo entre estas partes, presión o percusión (choque). De esta propiedad de las leyes del movimiento se infiere que la acción a distancia entre cuerpos no es más que una ficción. Las acciones a distancia —al menos durante el período de la historia a que vamos a aplicar nuestra versión de mecanicismo puro— eran de dos tipos: atracciones (o simpatías) y aversiones (o antipatías). Ejemplos del primer tipo era la propiedad que hacía tender los cuerpos hacia del centro de la tierra, es decir la gravedad. También existían cuerpos leves, cuya propiedad era responsable de hacer alejar al cuerpo del mismo centro de la tierra.

Toda esta clase de fenómenos —incluidos los poderes ocultos de algunos cuerpos— resulta inadmisibles dentro de un mecanicismo puro y se explican bien por una cohesión constante entre cuerpos debidos a su forma, o bien por el impacto —instantáneo o continuo— entre corpúsculos. Por esta razón, una fuerza —concebida como una entidad de la naturaleza con *status* ontológico particular (diferente a la materia) y operando a distancia entre los cuerpos— resulta una noción inadmisibles para esta versión de mecanicismo.

7. El método de hipótesis

Esta versión de mecanicismo tiene una doble implicación en lo que se refiere a alguna noción de metodología, entendiendo por este término la búsqueda de explicaciones o predicciones de los fenómenos naturales pasados y futuros, respectivamente. Dado que en el mecanicismo puro el conocimiento de las condiciones iniciales permite el conocimiento de las condiciones pretéritas y futuras (y por ende, el conocimiento de los fenómenos observables), la metodología más adecuada a esta versión sería aquella que permitiera deducir dichas explicaciones a

partir de la conjunción de las leyes del movimiento y las configuraciones de los corpúsculos que forman los cuerpos que intervienen en el fenómeno. O dicho de otra manera, la metodología más afín para esta versión de mecanicismo sería una metodología de carácter deductivo que permitiera el cálculo de esas configuraciones.

Existe no obstante un serio inconveniente respecto de este último punto. La pequeñez de las entidades mínimas de la materia compromete seriamente el objetivo de ofrecer explicaciones últimas de los fenómenos naturales. El hecho de que no sea posible en principio tener información certera sobre las configuraciones de los corpúsculos de los cuerpos obliga a debilitar esta exigencia y aceptar en su reemplazo un método que, manteniendo el objetivo de ofrecer explicaciones causales de los fenómenos, asuma la condición de inobservabilidad de dicho corpúsculos. De este modo, a pesar de inspirar una metodología de carácter deductivo, el mecanicismo puro sugiere al mismo tiempo el método de hipótesis como una metodología adecuada para la descripción de los fenómenos de nivel microscópico. Desde cierta perspectiva, esta desviación de los objetivos primarios del mecanicismo puro puede considerarse como una impureza o vicio de esta versión, aunque siempre será lícito sostener la perfectibilidad de nuestros medios de observación y en consecuencia la posibilidad de una descripción exhaustiva de todos los fenómenos naturales.

8. Naturalismo

El naturalismo en filosofía se define como el punto de vista según el cual todos los eventos del mundo físico se producen por causas naturales sin intervención de Dios o de causas sobrenaturales. En una versión naturalista, la naturaleza se presenta como un sistema autónomo o autogobernado que funciona en virtud de sus propias leyes y sin el control de un agente externo. Ahora bien, el mecanicismo puro es compatible con este punto de vista en tanto que sólo las determinaciones primarias de los corpúsculos más las leyes fundamentales del movimiento son las responsables de todos los cambios operados en el ámbito físico.

Así concebida, esta versión de mecanicismo sólo es conciliable con una noción de Dios cuya función es haber sido el creador del universo. Siendo la causa primera eficiente de su existencia, Dios puede concebirse como el arquitecto, artesano o artífice del mundo, el diseñador de la materia y aquel que estableció sus leyes desde el inicio de la creación. Pero a la vez, las intervenciones posteriores de este mismo Dios quedan completamente vedadas en esta versión de mecanicismo.

La tesis opuesta al naturalismo se ha conocido con el nombre de voluntarismo o supernaturalismo.²⁰ En la mayoría de sus versiones, la tesis afirma la intervención efectiva de Dios en su creación, no sólo en la producción de los milagros —hechos más que infrecuentes o siquiera reales— sino en la producción de varias propiedades físicas, como por ejemplo la fuerza de gravedad o la atracción magnética. Esta versión de mecanicismo puro rechaza de plano cualquier indicio de voluntarismo o

²⁰ La posición más radical de voluntarismo es la defendida por Malebranche. Este autor defendía que Dios era el nexo de comunicación entre las sustancias. Pero más aún, recreaba de forma continua la existencia de cada una de las sustancias particulares. También Berkeley defendía una versión extrema de voluntarismo.

supernaturalismo y afirma que todos los fenómenos físicos son producidos por las determinaciones mecánicas de la materia en conjunción con las leyes del movimiento.

9. Superfluidad del tiempo

Tal como aclaré oportunamente, la definición de movimiento como traslación espacial no incluye necesariamente la variable temporal. La admisión o exclusión de dicha dimensión queda sujeta a la conveniencia de suponer ciertos modos o propiedades del movimiento, específicamente, velocidad y aceleración. De lo anterior se sigue que una versión atemporal de mecanicismo puro es posible. Comparemos una y otra de estas versiones.

Una posible enunciación del carácter necesario del funcionamiento del mundo natural es el siguiente: dado en un instante t una configuración particular de entidades mínimas de materia —con determinadas formas, tamaños y movimientos— más leyes de movimiento correspondientes, otra determinada configuración de entidades —con otras determinadas formas, tamaños y movimientos— emergerá en un instante t' posterior. Ahora bien, suponiendo que la aplicación de las leyes no se haga en una dimensión temporal sino desde un punto de vista estrictamente lógico, la versión anterior se puede reformular y mantener muchas de las características que supuse del mecanicismo puro. Esto es así porque la deducción de cualquier estado del universo a partir de un estado cualquiera no implica necesariamente la versión temporal del mecanicismo puro. Un ejemplo me ayudará a aclarar este punto: cuando se afirma que la conclusión ‘todos los griegos son mortales’ se sigue de las premisas ‘todos los humanos son mortales’ y ‘todos los griegos son humanos’, la expresión ‘se sigue’ no significa sucesión temporal. La inferencia lógica no es lo mismo que la sucesión temporal y la derivación lógica de ciertos estados a partir de otros no implica una sucesión temporal.

Por otra parte, la superfluidad del tiempo sería más acorde con el *status* ontológico adscrito a las cualidades secundarias. Según esta versión de mecanicismo, sólo las cualidades primarias existen o son reales en los cuerpos. Las cualidades secundarias sólo residen en estados psicológicos o de conciencia y no son reales en el mismo sentido. Ahora bien, todas y cada una de estas cualidades primarias se relacionan con los sentidos de la vista o el tacto, dos de los sentidos más eficaces y mejor desarrollados en el hombre. La forma, el tamaño, la impenetrabilidad y el movimiento o reposo se reconocen por alguno de estos dos sentidos. Por otra parte, las cualidades secundarias se reconocen primordialmente por los sentidos del gusto, del olfato y de la audición. La superfluidad del tiempo —que surge como consecuencia de una versión atemporal de mecanicismo puro— es coherente con esta clasificación de cualidades en tanto que la dimensión ‘tiempo’ no parece depender de ninguno de los primeros sentidos mencionados. Nótese que no se afirma que sólo las cualidades primarias se reconocen por el sentido visual o táctil. El color constituye un ejemplo de cualidad secundaria cuya inspección se realiza por medio de la vista. Lo que se afirma es que el tiempo no se capta por ninguno de los sentidos con los que se perciben las cualidades primarias y de este modo, la realidad del tiempo bien puede suponerse con el mismo *status* que la percepción sensorial.

En conclusión, la superfluidad del tiempo, en tanto y en cuanto los fenómenos naturales se deriven unos de otros según necesidad lógica, es una consecuencia del mecanicismo puro que no admite explícitamente la dimensión temporal. La elección de una versión temporal como marco teórico se debe a razones puramente pragmáticas.

Hasta este punto he expuesto la caracterización general del mecanicismo puro y una serie de consecuencias que se siguen de ella. La conjunción de ambas constituye la herramienta teórica con la que analizaré a varias filosofías naturales del siglo XVII.

PARTE II: EL MECANICISMO EN EL SIGLO XVII

Introducción

En esta segunda parte analizaré un conjunto de autores del siglo XVII cuyos trabajos son cercanos bien a la caracterización general de mi noción de mecanicismo puro, bien a alguna de los aspectos parciales de esta posición. En cada uno de estos autores tratados intentaré evaluar el grado de pureza de sus doctrinas y a tal fin emplearé una misma estrategia, analizaré la teoría de la materia y las leyes del movimiento postuladas por el autor en cuestión y examinaré qué consecuencias de mi definición de mecanicismo puro están contempladas en esa doctrina. Esto me permitirá evaluar el grado aproximación entre mi versión teórica de mecanicismo y la doctrina en cuestión.

Deseo aclarar de entrada que en mi elección de los autores del siglo XVII no estoy presuponiendo ninguna noción previa de mecanicismo, tal como es el caso de la estrategia que intenta encontrar aires de familia entre las diferentes versiones de mecanicismo. En principio, mi esquema de mecanicismo puro es aplicable a cualquier filosofía natural (de cualquier época) y si no elijo una doctrina como la de Van Helmont —por mencionar un ejemplo— es por que reconozco de antemano que dicha filosofía guarda muy pocos puntos de contacto con mi noción de mecanicismo puro.

Dado que las conclusiones respecto de mi evaluación del mecanicismo del siglo XVII dependen del conjunto de autores seleccionados, considero ineludible unas palabras acerca de los criterios de selección de dichos autores. En primer lugar, incluyo a filósofos naturales que según sus contemporáneos o sus sucesores inmediatos, o bien hicieron un aporte o fueron adherentes a la filosofía mecánica, en alguna de sus versiones.

En particular, existen razones puntuales por las que he elegido a ciertos filósofos naturales para mi reconstrucción del mecanicismo del siglo XVII. El mecanicismo cartesiano tiene una importancia capital como filosofía natural en tanto que fue el primer sistema capaz de competir en universalidad con la filosofía natural aristotélica. Este no fue el caso de Galileo, quien solamente ofreció un conjunto de soluciones puntuales —aunque originales y admirables— para ciertos problemas de la ciencia moderna. Particularmente importante fue el hecho de que Galileo enunció la ley de caída de los cuerpos y la leyes del movimiento de los proyectiles, leyes que significaron un aporte substancial para la naciente ciencia del movimiento. Boyle fue un defensor de la filosofía mecánica y uno de los primeros autores en utilizar el concepto '*mechanical philosophy*'. En este caso particular, no sólo son importantes sus disquisiciones filosóficas acerca de la noción de cuerpo y su análisis de la relación entre ciencia y religión, sino también el sinnúmero de investigaciones particulares explicadas a partir de 'los principios de la filosofía mecánica'. El aporte de Locke a la filosofía mecánica es importante por los argumentos presentados por este autor en defensa del corpuscularismo y del uso de analogías mecánicas para la explicación de fenómenos naturales; además Locke fue un filósofo sistemático que logró amalgamar en una original síntesis, atomismo y empirismo. Por último, la

elección del Newton puede parecer inapropiada en relación a esta caracterización particular del mecanicismo. Es ciertamente evidente que este 'gran anfibio'²¹ fue un pionero respecto de la necesidad ofrecer una nueva teoría de la materia y el primero en organizar a la mecánica como un sistema axiomático. Mi decisión de incluir a Newton dentro de los autores es con el fin de evaluar en qué medida su doctrina está embuída en la tradición que lo precedió.

La necesidad de poner límites a este trabajo es la principal razón por la cual escojo solamente a unos pocos autores de la amplísima gama de filósofos naturales del siglo XVII. Una indagación más exhaustiva podría considerar las filosofías naturales de autores tales como Pierre Gassendi (1592-1655), Thomas Hobbes (1588-1679), Christian Huygens (1629-95), Marin Mersenne (1588-1648), Walter Charleton (1620-1707), Sir Kenelm Digby (1603-65) o Géraud de Cordemoy (1626-84). Un tratamiento de estos autores quedará eventualmente reservado para investigaciones futuras.

Por otra parte, mi elección de los autores propuestos es no es diferente a la que realizan varios autores contemporáneos interesados en el tema de la filosofía mecánica del siglo XVII. Por citar un ejemplo, Lynn Sumida Joy [(1988)], analizando el conflicto entre diversos 'mecanicismos' del siglo XVII con la concepción empirista en general, contrasta un punto de vista científico de los puntos de vista de Boyle y Locke con los programas justificacionistas de Descartes y Gassendi. Más aún, los diversos autores que reseñé en la primera parte de esta tesis acordarían en considerar a estos autores como representantes conspicuos de la filosofía mecánica del siglo XVII.

²¹ La expresión corresponde a [Kearney (1971): cap. 6]

Capítulo III: EL MECANICISMO CARTESIANO

Introducción

A continuación analizo uno de los sistemas mecanicistas más completos del siglo XVII, el mecanicismo cartesiano. El ambiente intelectual en el que fue educado Descartes combinaba la filosofía aristotélica con la teología cristiana en una especie de gran síntesis en la que los elementos teológicos quedaban fuertemente respaldados por conceptos filosóficos muy elaborados. Desde muy temprana edad Descartes sintió la necesidad de proponer un sistema filosófico alternativo a esta síntesis entre teología y filosofía. Pero la alternativa a semejante sistema no podía ser una mera teoría acerca de algún aspecto parcial de la realidad o un criterio elemental para determinar verdades. Descartes se esmeró en establecer un ‘sistema’, es decir un conjunto integrado de principios ontológicos, epistemológicos y metodológicos, capaz de competir en extensión y consistencia con los grandes sistemas filosóficos en vigencia. Es en el contexto de este objetivo primordial como debemos entender su propuesta de filosofía mecánica. Con esta doctrina Descartes se convirtió en uno de los primeros pensadores del siglo XVII en presentar un sistema completamente original y en buena medida incompatible con el sistema aristotélico.

En este capítulo aplico mi esquema de mecanicismo puro al sistema cartesiano a fin de evaluar su grado de pureza. En primer lugar presento su teoría de la materia y las leyes del movimiento, tema que es complementado con los argumentos metafísicos en que Descartes basó su proyecto de una física matemática. Sus contribuciones al álgebra geométrica, así como sus recomendaciones de construir hipótesis sobre fenómenos inobservables en analogía con la descripción del funcionamiento de máquinas, son algunos de los aspectos parciales del mecanicismo cartesiano analizados en el resto del capítulo.

Corpuscularismo y leyes del movimiento

La primera versión completa de su teoría corpuscular de la materia fue presentada por Descartes hacia 1633, en lo que años más tarde apareciera publicado como *El Mundo o Tratado de la luz*. La segunda versión de su ontología fue expuesta en sus *Principia* de 1644. De la comparación de ambos trabajos surge la existencia de algunas diferencias entre una y otra versión, diferencias que no analizaré en esta sección de mi trabajo.²² Alternativamente, me centraré —en primer lugar— en los rasgos generales de la teoría cartesiana de los elementos, para luego presentar su concepción del movimiento y las leyes que lo gobiernan; finalmente mostraré con un par de ejemplos la aplicación de corpuscularismo en la descripción de fenómenos naturales.

En el capítulo titulado “del número de elementos y sus cualidades” de *El Mundo*, Descartes describe los elementos primitivos del universo:

Concibo el primer elemento —al que puede llamarse fuego— como el líquido más sutil y penetrante que hay en el mundo. [...] imagino que sus partes son mucho menores y se mueven mucho más de prisa que las de los otros cuerpos [Descartes (1989): 85].

²² Para detalles acerca de los cambios de una exposición a otra véase [Lynes (1982)].

Descartes no atribuye a los corpúsculos de este primer elemento figura o tamaño determinados, sino un impetuoso movimiento que hace que al colisionar con otros cuerpos las partes cambien de figura constantemente y se adapten a los lugares donde entran. De este modo no existirán partes en los otros cuerpos en donde las partes de este elemento no puedan penetrar y lo llenen por completo. En cuanto al segundo elemento, Descartes afirma:

Concibo también el segundo –al que puede tomarse por el elemento aire— como un líquido muy sutil en comparación con el tercero, [...] pero con partes que tienen algún tamaño y figura, comparadas con el primero. Dichas partes son redondas y como granos de arena y polen cuando están juntas... [Descartes (1989): 85].

Las partes de este segundo elemento no se pueden disponer ni comprimir entre sí sin que siempre queden a su alrededor numerosos intervalos en los que ingresa el primer elemento. De este modo resulta que este segundo elemento no puede hallarse puro en ningún lugar del mundo, ya que siempre estará mezclado con algo del primero.

Además de estos dos elementos sólo admito un tercero, a saber, el de la tierra, del que juzgo que sus partes son tanto mayores y se mueven tanto más despacio, en comparación a las del segundo, como éstas en comparación a las del primero. Asimismo creo que es conveniente concebirlo como una o varias masas grandes cuyas partes tienen poco o incluso carecen de movimiento que les haga cambiar de situación en relación unas con otras. [Descartes (1989): 85].

Es necesario aclarar que los elementos ‘fuego’, ‘aire’ y ‘tierra’ no refieren a las substancias que comúnmente denominamos con esos nombres. Descartes utiliza estos términos con fines didácticos para señalar la existencia de tres tipos diferentes de corpúsculos que forman el universo y de los cuales todos los objetos físicos están compuestos.

Descartes también rechaza que existan lugares naturales para cada uno de estos elementos, a pesar de lo cual sugiere que el primer elemento predomina en el Sol y las estrellas fijas, el segundo en los cielos y el tercero en la Tierra, los planetas y los cometas. Más aún, desde las nubes más altas hasta las fosas más profundas que la avaricia les haya llevado a excavar, los hombres sólo experimentamos mezclas de estos tres elementos y nunca éstos mismos en su estado puro [*Ibid.*: 91-3].

Que el tamaño, la forma y el movimiento sean las únicas determinaciones de los corpúsculos de materia queda evidenciado a partir del argumento por el cual Descartes apunta a refutar la sustancialidad de las cualidades de la filosofía peripatética. Según Descartes, cualidades tales como calor, frío, humedad y sequedad, más que servir para explicar otro fenómenos, tienen ellos necesidad de explicación. No obstante, éstas y cualquier otra cualidad “pueden ser explicadas sin que sea preciso a tal efecto suponer en su materia ninguna otra cosa más que el movimiento, el tamaño, la figura y la disposición de sus partes”²³ [Descartes (1989): 87].

Hasta este punto Descartes presenta su teoría de la materia. Desde sus investigaciones el autor advirtió la necesidad de poseer una nueva definición de movimiento; en las

²³ Me explayaré con más detalle sobre este punto en el apartado sobre la ‘distinción entre cualidades primarias y secundarias’ de este mismo capítulo.

Regulae —obra que escribiera en sus años de juventud— Descartes refiere a la definición aristotélica de movimiento y afirma que ésta está compuesta por palabras mágicas cuya comprensión parece estar por encima del alcance del espíritu humano: “aquellos dicen que el movimiento [...] es *el acto de un ente en potencia en cuanto está en potencia*”.²⁴ Y se pregunta:

¿Quién entiende estas palabras? Nunca se han de explicar las cosas con definiciones de esta clase, a menos que consideremos las cosas más complejas en lugar de las simples. Estas cosas deben ser intuitas atentamente por cada uno según la luz de su espíritu, y distinguidas de todas las demás. [Ibid.]

También en *El Mundo* Descartes arremete contra la concepción aristotélica del movimiento, contraponiendo una nueva noción. Los filósofos hablaban del *movimiento hacia la forma, movimiento hacia el calor, movimiento hacia la cantidad*, etc.²⁵ Pero para Descartes no existía ningún otro movimiento a excepción de aquel que concebían los geómetras y el que era el más fácil de comprender, es decir, “el que hace que los cuerpos pasen de un lugar a otro y ocupen sucesivamente todos los espacios que hay entre ambos” [Ibid.: 115].

Inmediatamente después de introducir la noción de movimiento, Descartes presenta las “leyes fundamentales de la naturaleza”. Con estas leyes Descartes explica “los numerosos cambios en las partes de la materia” que no pueden atribuirse a la acción de Dios. Estas leyes de la naturaleza poseen una doble justificación, pues por un lado son ‘deducidas’ de los principios metafísicos y por otro lado son confirmadas por los fenómenos que explican. La primera de estas leyes afirma que “cada parte de la materia en particular permanece siempre en un mismo estado (*e[st]at*) mientras el encuentro con otras no le obliga a cambiarlo” [Descartes (1989): 111]. Es decir, que un cuerpo no cambiará su tamaño a menos que otras partes lo dividan y tampoco su figura si otras partes lo hacen. Del mismo modo, su movimiento o reposo no cambiará a menos que otras lo obliguen a hacerlo y si ha empezado a moverse, continuará haciéndolo hasta que otras lo detengan o disminuyan su movimiento.

La segunda ley del movimiento afirma lo siguiente: “...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 en igual cantidad” [Ibid.: 117]. Esta regla, al igual que la anterior, concuerda con todas de experiencias cotidianas, ya que nuestros sentidos no informan que cuando un cuerpo empieza o cesa de moverse es porque ha sido impelido o detenido por otro. Esta misma regla explica la razón por la que una piedra continúa moviéndose después de haber abandonado la mano de quien la ha lanzado; el evento que requiere explicación es “¿por qué no sigue moviéndose siempre?” Esto le permite a Descartes introducir un medio que opone resistencia. Según las leyes cartesianas, el movimiento ya no necesita de una causa que lo mantenga; es el

²⁴ La cita es tomada de [Aristóteles *Física*, III,1, 201a 10-11] y corresponde a [Descartes *Regulae*: 132].

²⁵ Nótese que todos estos ‘movimientos’ pueden considerarse como procesos que tienen un comienzo y un final y son la actualización de alguna potencia. El movimiento aristotélico de traslación también pertenecía a este tipo de proceso. En contraposición, el concepto cartesiano de movimiento es un estado, es decir una condición que se mantiene. Esto se ve con mayor claridad cuando se consideran las leyes del movimiento.

reposo el que necesita explicación. Y para este problema Descartes también tiene una respuesta: si un cuerpo está en reposo es porque ha cedido todo su movimiento a algún otro en alguna interacción y por medio de un choque, es decir, por medio de una acción de contacto.

Hacia el final del capítulo Descartes introduce la tercera ley del movimiento:

“Añadiré una tercera: 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 tienden 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.” [*Ibid.*: 123]

Una experiencia común que confirma esta ley es el caso de una rueda que gira: en tanto sus partes están unidas entre sí, todas ellas tienden a girar en el mismo sentido; pero cuando una de esas partes se desprende, sale despedida en línea recta con un movimiento tangencial al circular.

Es importante destacar algunas observaciones que Descartes hace acerca de estas leyes. Según este autor, las leyes de conservación se siguen manifiestamente de la inmutabilidad e invariabilidad de la acción divina. Dios creó la extensión y confirió al universo una determinada cantidad de movimiento, la cual fue y es conservada en cada instante subsiguiente. Negar lo anterior es equivalente a aceptar que Dios no actúa siempre de la misma manera, lo cual resulta un absurdo. De este modo, el principio de conservación del momento o cantidad de movimiento logra su justificación en los atributos divinos y este es el principal argumento que ofrece Descartes de esta ley de la naturaleza. En particular, respecto de la tercera regla afirma que:

...se apoya en el mismo fundamento que las otras dos y sólo depende de que Dios conserva cada cosa por una acción continuada, y en consecuencia que no la conserva tal como era algún tiempo antes, sino precisamente tal como es en el mismo instante en que la conserva. Y entre todos los movimientos, sólo el rectilíneo es enteramente simple y su naturaleza está comprendida en un instante, pues para concebirlo basta pensar que un cuerpo está en acción de moverse hacia un lado determinado —lo cual radica en cada uno de los instantes que pueden determinarse en el tiempo que se mueve— frente al movimiento circular o cualquier otro en que es preciso considerar al menos, para concebirlo, dos de sus instantes, o de sus partes, y la relación entre sí [*Ibid.*: 123-5].

A partir de estas leyes Descartes se propone explicar la formación del sol y las estrellas, del origen y trayectorias de planetas y cometas (con especial énfasis en la Luna y la Tierra), la gravedad, el flujo y reflujo del mar, además del origen y propiedades de la luz. No se propone “introducir demostraciones exactas de las cosas” sino que prosigue la descripción de este mundo “cual si no tuviera otro objetivo que el de contar una fábula” [*Ibid.*: 131].

Metafísica cartesiana: la identificación entre materia y extensión

Antes de pasar a analizar qué consecuencias infiere Descartes de su filosofía mecanicista, presentaré sucintamente los argumentos metafísicos que sostienen la identificación de materia y extensión, así como la deducción de la física a partir de la metafísica.

Descartes reconstruye en los primeros artículos de los *Principia* muchos de los

argumentos ofrecidos en sus *Meditaciones metafísicas*, argumentos que establecen entre otras cosas, la indubitabilidad de nuestra existencia, la distinción entre mente y materia, y la existencia e inmutabilidad de Dios. En el artículo 53 de la primera parte Descartes señala la distinción entre dos tipos de sustancias, cada una de las cuales se distingue por un atributo principal, siendo el pensamiento el atributo principal de la mente y la extensión el del cuerpo. Afirma: “La extensión en largo, ancho, y profundidad constituye la naturaleza de la sustancia corpórea; ... pues toda otra cualidad que pueda atribuirse a un cuerpo presupone la extensión y es tan sólo un cierto modo de la sustancia extensa.” [*Principia* (I, 53)]. Ahora bien, afirmar cual es el principal atributo de la sustancia corpórea no es lo mismo que demostrar su existencia y por ello Descartes ofrece un argumento tendiente a probar dicha proposición. El argumento puede resumirse en las siguientes proposiciones:

Es indudable que nuestras sensaciones nos vienen a partir de algo distinto que nuestra propia mente

No está en nuestro poder hacer que sintamos una cosa más bien que otra; esto depende más bien de la cosa que afecta nuestros sentidos

Esta cosa puede ser Dios o algo diferente de Dios

Pero nosotros poseemos una idea clara y distinta de materia como algo extendido en ancho, largo y profundidad, compuesta de partes móviles y de formas diversas

Estas partes producen en nosotros las sensaciones de colores, olores y dolores

Si Dios fuera la causa de nuestra idea de materia como algo extenso o si hiciera que algo que no es extenso en ancho, largo y profundidad fuera la causa de nuestra idea, entonces este Dios sería un ser engañoso

Pero Dios no puede tener tal naturaleza

En conclusión, existe algo extendido en largo, ancho y profundidad y que además posee todas las demás propiedades que, de una forma clara, percibimos como pertenecientes a ella. Este algo es lo que llamamos ‘cuerpo’ o ‘materia’.

Varios autores han discutido si Descartes identifica materia con extensión o si sólo considera a la extensión como una propiedad esencial de la materia.Cuál sea la interpretación correcta no es una cuestión trivial ya que una u otra posición origina problemas relacionados con la coherencia interna del sistema cartesiano²⁶. Pero, más allá de cual fuere la interpretación adecuada, el punto importante para el objetivo de este trabajo son las consecuencias que se derivan de la identificación entre materia y extensión geométrica. Estas consecuencias son:

1. que el universo es infinito en extensión
2. que el universo está compuesto de la misma materia en todas partes
3. que la materia es indefinidamente divisible
4. que el vacío es una contradicción y en consecuencia es imposible

El tercer punto equivale a la negación de la doctrina atomista de la materia. Descartes llega a esta conclusión por medio del siguiente argumento: ninguna de las partes de la materia, por más pequeña que sea, carece de la propiedad de extensión y cualquier

²⁶ [Brown (1980) y (1989)].

cuerpo extenso es clara y distintamente divisible en otras partes. En consecuencia, es posible concebir clara y distintamente que las partes más pequeñas de la materia son divisibles y de lo cual se colige que la materia es indefinidamente divisible. Desde el lado opuesto, la doctrina atomista de la materia afirma la indivisibilidad de los átomos o partículas mínimas de materia; pero esta conclusión está en contradicción con la divisibilidad indefinida antes deducida. En consecuencia, “es imposible que los átomos, o las partes de la materia que sean por su naturaleza indivisibles, existan” [*Principia*, II, 20]. Nótese que Descartes sólo afirma la divisibilidad indefinida de la materia y no divisibilidad infinita de la misma. Su cautela se basa en que sólo poseemos un conocimiento negativo de la división, es decir, conocemos que la división *no* tiene límites; pero ello no nos permite inferir que la división sea realmente infinita. Por esta razón es que Descartes afirma que la materia es ‘indefinidamente indivisible’. Este tipo de conocimiento negativo es contrastado con ciertos tipos de conocimiento positivos, por ejemplo con el hecho de que positivamente conocemos que Dios es infinito. Nuestro conocimiento de esta verdad no está basado en una incapacidad para entender los límites divinos sino en un conocimiento verdadero de la infinitud divina.

La negación de la existencia de vacío se basa en el siguiente argumento: si el vacío se define como un espacio donde no hay materia alguna, luego ello resulta una contradicción, pues un espacio donde no haya materia alguna es imposible de acuerdo a la definición de materia. De esto resulta que el universo es un *plenum*, es decir espacio donde no existen lugares vacíos. Siendo aún más preciso, el espacio no es una entidad existente en sí mismo, sino la totalidad de las relaciones entre cuerpos.²⁷ Esta identificación entre materia y extensión presenta ulteriores problemas. Entre estos problemas, los más importantes fueron el de determinar si efectivamente es posible el movimiento en un *plenum* y el de si los movimientos en este medio no serían instantáneos.

Distinción entre cualidades primarias y secundarias

Tras postular la extensión como única propiedad esencial de los cuerpos, Descartes presenta un argumento por medio del cual rechaza que atributos tales como el peso, la consistencia o el color puedan también ser propiedades esenciales. En el caso particular de propiedad ‘dureza’ el argumento es el siguiente:

La dureza no es otra cosa que la resistencia que ciertas partes del cuerpo presentan a nuestras manos cuando éstas chocan con ellas

Y que si todas las veces que nuestras manos se mueven hacia alguna parte, todos los cuerpos que allí estuvieran se retiran con la misma velocidad con que éstas se acercan a ellos, nunca sentiríamos dureza alguna

Ahora bien, nunca puede decirse que los cuerpos que se movieran con esa velocidad perderían por esta acción la naturaleza de cuerpo

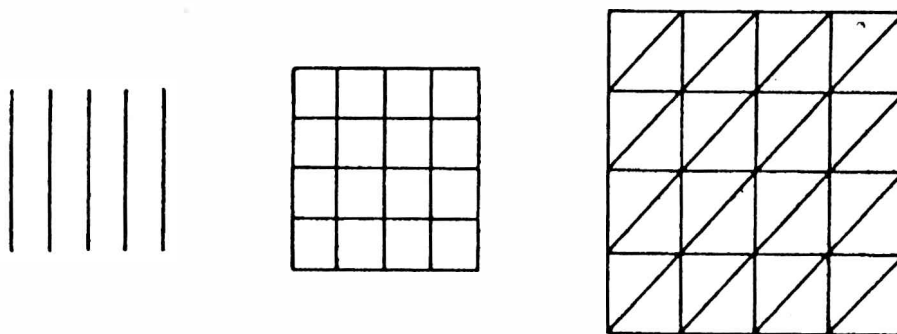
En conclusión, la naturaleza de cuerpo no consiste en su dureza [*Principia* II, 4]

Argumentos similares prueban que lo mismo puede afirmarse de otras propiedades sensibles de la materia. En el caso del color es evidente que el tono con que un cuerpo

²⁷ Un análisis más completo de la posición cartesiana respecto del espacio puede encontrarse en [Koyré (1979): V y VI].

se manifiesta depende de la fuente de luz que lo ilumina. Una variación en la coloración se corresponde con una variación de la fuente de luz y ello no implica la pérdida de su esencia, es decir, de ser un objeto extenso en ancho, largo y profundidad.

Particularmente interesante para este punto es la explicación ofrecida por Descartes en la regla 12 de sus *Regulae*. Allí nos dice que los diferentes colores —del mismo modo que otras cualidades perceptibles— son representadas en la imaginación por medio de diferentes esquema lineales. Para ilustrar este punto Descartes utiliza las siguientes figuras:



Es importante destacar un punto importante de la descripción cartesiana. Descartes no nos dice que nosotros percibimos diferentes configuraciones de líneas rectas cada vez que percibimos colores. Por el contrario él afirma que sólo podemos percibir alguna propiedad sensible siempre y cuando podamos representárnosla por medio de configuraciones de este tipo. No existe evidencia de que Descartes crea —como más tarde si hará Galileo— que los colores y en general todas las cualidades sensibles son una especie de adiconamientos psíquicos de nuestra mente perceptora. Claro que esta interpretación deja abierta la cuestión de cuál es el *status* de estas propiedades, pero ésta es una pregunta que Descartes no responde en esta parte de su obra.

La geometrización del álgebra y la algebrización de la geometría

El título completo del *Discourse de la méthode* [Descartes (1983)] es el siguiente: ‘discurso del método para conducir correctamente la propia razón y buscar la verdad en las ciencias, junto con la Óptica, la Meteorología y la Geometría, las cuales son ejemplos de este método’. Según este largo título, Descartes parece sugerir que los tres últimos tratados son ejemplos o aplicaciones del método general que él expone en la primera parte de la obra. Pero este no parece ser el caso. Stephen Gaukroger afirma que sería un grave error considerar a la *Geometría* como una simple ejemplificación del método. Más bien debemos a este tratado como una fuente de inspiración del método [cfr. Gaukroger (1992):91].

En cuanto a la geometría y al álgebra de su época, Descartes afirma que ambas ciencias presentan serios problemas en su estado actual. La geometría se restringía tanto a la consideración de figuras “que no permite ejercitar el entendimiento sin fatigar demasiado la imaginación” en tanto que el álgebra de los modernos, estando sujeta a diferentes reglas y cifras, acababa convirtiéndose en una “confusa ciencia que embaraza

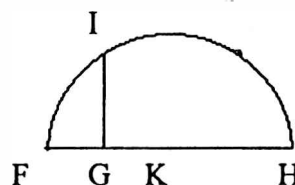
la mente más que cultivarla” [Descartes (1983): 59]. Descartes ansiaba desarrollar una disciplina que evitara ambos problemas.

En sus *Elementos*, Euclides se propuso construir la geometría a partir de los siguientes dos postulados: dados dos puntos, es siempre posible trazar una recta entre ellos y dados dos puntos, es siempre posible trazar una circunferencia que pase por ellos y que tenga como centro a un tercer punto dado. Pero el rango de problemas que se podían solucionar con este tipo de curvas era muy restringido y los mismos griegos sintieron la necesidad de incluir un tercer postulado que les permitiera ampliar el número de curvas disponibles. Apolonio hizo avanzar esta disciplina incluyendo aquellas curvas que resultaban de la intersección de un cono con un plano, es decir, las cónicas.

En la antigua Grecia, las cónicas no fueron consideradas como convenientes para la descripción de los movimientos de los cuerpos, sobre todo si se tiene en cuenta que la cosmología imperante era la aristotélica y que según esta cosmovisión existían nada más que dos tipos de movimientos: el rectilíneo, desde o hacia el centro de la tierra y el circular, alrededor de dicho centro. Mal podría pensarse que curvas como la elipse o la parábola podrían haber sido de utilidad para la descripción del mundo físico. Pero esta opinión cambió radicalmente a partir de los estudios de balística del renacimiento y sobre todo con los trabajos de Kepler en astronomía. A partir de éstos se comprobó que el lanzamiento de proyectiles y el movimiento de los planetas alrededor del sol describían aquel tipo de curvas inútiles para la Antigua Grecia. En *La Geometría*, Descartes intentó ofrecer un procedimiento general para la resolución de problemas geométricos y aritméticos, mostrando como la solución provenía de aplicar el álgebra a ambas disciplinas. Repasemos algunos detalles de esta obra.

La Geometría esta compuesta por tres libros. El primero trata sobre “problemas que pueden ser construidos utilizando solamente círculos y líneas rectas”, el segundo analiza “la naturaleza de las curvas” y el tercero examina “problemas sólidos y supersólidos”. En el primer libro Descartes presenta una solución original para problemas que habían sido presentados por los griegos. Descartes comienza el primer libro analizando “cómo se relaciona el cálculo de la aritmética con las operaciones de la geometría” y mostrando que las operaciones aritméticas de suma, resta, multiplicación, división y extracción de raíces corresponden a construcciones simples con regla y compás. Veamos el caso de la última operación:

Para encontrar la raíz cuadrada de GH, le añado la recta FG igual a una unidad; luego divido a FG en dos partes iguales y dibujo el círculo FIH alrededor del centro K. Luego trazo desde G una recta que forme ángulo recto con FG y que corte al círculo en I. Así GI es la raíz buscada.



Después de vincular cada una de las operaciones aritméticas con las geométricas Descartes presenta un conjunto de reglas para tratar algebraicamente problemas geométricos. En primer lugar sugiere designar con letras tanto las magnitudes conocidas como las incógnitas, y luego, sin hacer distinción entre las magnitudes conocidas y desconocidas, operar con ellas como si hubiéramos resuelto el problema, de manera que cada cantidad pueda ser expresada de dos maneras. De esta

manera llegamos a formar una ecuación y la solución del problema se consigue cuando para cada incógnita se encuentra una ecuación por resolver.²⁸

Un hecho que merece resaltarse es que el autor abandona lo que se denominaba 'principio de homogeneidad'. Según este principio las operaciones de suma, resta, etc. sólo podían realizarse entre magnitudes de igual dimensión. En este caso Descartes interpreta a x^2 y x^3 no como un área o un volumen respectivamente sino como segmentos multiplicados dos y tres veces por sí mismos y esto le permite considerar cualquier potencia posible y no verse ceñido —como en el caso de sus antecesores— a potencias no mayores de 3.

Otra novedad que Descartes introduce son las ecuaciones algebraicas de dos incógnitas, cuya forma general es la siguiente: $f(x,y) = 0$. Antes de Descartes estas ecuaciones eran consideradas como indeterminadas en el sentido de que sólo reemplazando uno de los valores, el otro podía ser obtenido. Pero bajo ningún concepto la ecuación se consideraba como solución de un problema. La innovación de Descartes consiste en interpretar que x corresponde a un punto del eje de las abscisas e y a otro punto del eje de las ordenadas, de manera tal que para cada valor de x , el valor de y queda determinado. El resultado último es la forma general de una curva que satisface la ecuación.

A continuación Descartes ofrece cuatro procedimientos para hallar raíces de ecuaciones cuadráticas que no sean ni negativas ni imaginarias, e inmediatamente pasa a tratar un problema en el que su método se mostró ventajoso: el conocido problema de Apolonio. Según Descartes:

el problema del lugar geométrico (*locus*), de tres o cuatro rectas acerca del cual Apolonio se jactaba orgullosamente sin dar ningún crédito a los autores que lo precedieron, es de esta naturaleza: si dadas tres líneas rectas en una posición determinada, se trazan otras líneas rectas desde uno y el mismo punto de manera que formen con las primeras ángulos prefijados; y si también se da la razón del rectángulo contenido por las dos líneas así dibujadas al cuadrado del otro lado, el punto pertenecerá a un lugar geométrico sólido como es alguna de las tres secciones cónicas.²⁹

Descartes recuerda que fue Pappus quien analizó casos en los cuales el número de rectas eran cuatro, cinco y seis rectas, pero no más, ya que multiplicar cuatro o más segmentos hubiera dado lugar a una cuarta dimensión que no era posible encontrar en ninguna figura. La novedad del método propuesto por Descartes es que en principio ofrece soluciones para cualquier número de rectas. En particular Descartes demuestra que para cinco, seis, siete y ocho rectas, la solución es una curva de un grado superior a las cónicas; para nueve, diez, once, y doce, un grado superior a estas últimas y así sucesivamente.

En el segundo libro de *La Geometría* Descartes analiza la naturaleza de las líneas curvas. Los antiguos distinguían entre tres tipos de problemas: planos, sólidos y

²⁸ En este caso de la raíz cuadrada de GH, si llamamos 'a' a GH y 'x' a la raíz, entonces tenemos que ' $x^2 + a^2 = y^2$ ', y ' $x^2 + 1^2 = z^2$ '. Sumando ambas ecuaciones tenemos $2x^2 + a^2 + 1 = y^2 + z^2$. Pero el segundo miembro es la suma de los catetos del triángulo mayor y por lo tanto igual a $(1 + a)^2$. Igualando estas cantidades y cancelando términos tenemos $x^2 = a$, que es la cantidad que buscábamos.

²⁹ Pappus, Vol. II, pp. 677 ss., Edición de Commandinus de 1660. Citado en Descartes (1954).

lineales. Los problemas planos eran aquellos que podían ser resueltos por medio de curvas cuyo origen era el plano: los círculos y las rectas; los sólidos tenían soluciones tomadas de un cuerpo sólido como era el cono y las curvas correspondientes eran las cónicas; las soluciones de los problemas lineales dependían de otras líneas además de estas dos primeras, tales como la espiral, la cuadratriz, la conoide, etc. Descartes se pregunta entonces acerca del criterio por el cual los antiguos llamaban al último tipo de curvas mecánicas y no geométricas; pues si la denominación de mecánicas era por el tipo de instrumento utilizado en su construcción, ellos deberían ser consistentes y considerar a los círculos y las rectas como tales, en tanto que también éstos precisan de instrumentos para su construcción. Si, por otro lado, las llamaban 'mecánicas' por estar construidas con instrumentos menos exactos que las reglas y compases, estas curvas deberían haber sido excluidas de la mecánica, ya que en esta ciencia la exactitud en una construcción es más importante que en geometría. La geometría sólo exige exactitud en el razonamiento y esto vale tanto para líneas simples como complejas. Por último también podría ser el caso de que los antiguos no quisieran utilizar más que estos dos postulados: que por dos puntos dados se puede trazar una línea recta y que dados dos puntos se puede trazar una circunferencia que tenga a uno de ellos por centro y que pase por un tercero. Pero para el tratamiento de las cónicas, ellos no dudaron en agregar la suposición de que cualquier cono puede cortarse con un plano.

La innovación de Descartes en el tratamiento de curvas consiste en introducir el postulado que le permite definir las curvas a partir del movimiento e intersección de líneas conocidas³⁰. De aquí en más, las curvas geométricas serán aquellas que son descritas de una manera exacta y precisa y poseen una relación definida con los puntos de la recta, relación que se expresa por medio de una ecuación. Si la ecuación no contiene términos mayores que el producto de dos cantidades desconocidas o el cuadrado de una de ellas, la curva pertenece a la clase más simple, la primera clase, que contiene a la circunferencia, la parábola, la hipérbola y la elipse; en el caso de contener términos de tercer o cuarto grado en una de las cantidades desconocidas, la curva es de segundo grado; si la ecuación contiene término de quinto o sexto grado en alguna de sus incógnitas, la curva es de tercer grado y así sucesivamente. En general supuso que la construcción de las soluciones de una ecuación de grado $2n$ o $2n-1$ constituía un problema de clase n .³¹ En este segundo libro también se hace referencia al trazado de normales y tangentes a una curva dada.

Comentando la importancia de *La Geometría*, Carl Boyer afirma que la obra "fue en su día un triunfo de la pura teoría sin intención práctica, en la misma medida en que lo fueron las *Cónicas* de Apolonio en la antigüedad, a pesar del papel tan extraordinariamente útil que ambas obras estaban destinadas a jugar en el futuro" [Boyer (1986): 436]. Más allá de las intenciones de Descartes a la hora de presentar una obra como ésta, es indudable que *La Geometría* tuvo una utilidad muy importante relacionada con el hecho de que flexibilizó los tratamientos geométricos en las cantidades continuas. La propuesta cartesiana de tratar a las magnitudes geométricas en

³⁰ El postulado afirma "...dos o más líneas pueden ser movidas, una sobre la otra determinando por su intersección otras curvas"

³¹ Esta clasificación se vio afectada en años posteriores pues se demostró que las curvas de grado n pueden resolver ecuaciones hasta de grado n^2 .

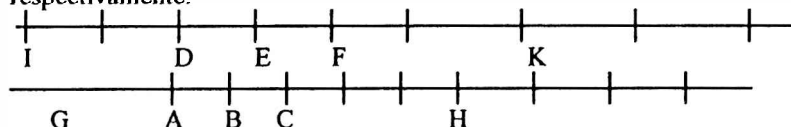
términos algebraicos, constituyó un avance importante en tanto que facilitó el manejo simbólico de las operaciones en geometría. Antes de esta obra, tratar matemáticamente cualquier magnitud (longitud, superficie, volumen, duración temporal, etc.) significaba describirla en el lenguaje geométrico y era el manejo de estas cantidades lo que resultaba engorroso.³² Descartes intentó establecer una matemática universal en la cual la geometría, la aritmética y el álgebra eran elementos fuertemente asociados.

¿Cuál es el mérito de una obra en la que se mezclan cuestiones de álgebra junto a otras geométricas? La interpretación de las operaciones aritméticas en un lenguaje geométrico le permitió a Descartes hacer de dichas operaciones algo más manejable y menos dependiente de las construcciones, clarificando lo que él consideraba como un “confuso arte”.

Por otra parte sería desatinado separar el trabajo matemático de Descartes de su proyecto de una física matemática, y en este sentido *La Geometría* cumple un rol unificador. Primero, porque respalda la identificación cartesiana entre materia y

³² Veamos en el siguiente ejemplo la fertilidad de esta idea. En un pasaje de la tercera jornada de los *Discorsi*, Galileo presenta el siguiente teorema:

“Si un móvil, que marcha con movimiento uniforme y con velocidad constante, recorre dos espacios, los tiempos de los trayectos son entre si como los espacios recorridos.” En la demostración de dicho teorema Galileo afirma: “Sea un móvil que marche con movimiento uniforme y que recorra con velocidad constante los dos espacios AB y BC; y sea DE el tiempo del movimiento por AB; y el tiempo del movimiento de BC sea EF. Digo, que espacio AB es al espacio BC, como el tiempo DE es al tiempo EF. Extiéndase en ambas direcciones los espacios y los tiempos hacia E, H, e I, K respectivamente.



En AG tómesese un número cualquiera de espacios iguales al mismo AB, y de modo semejante en DI un número igual de tiempos iguales al tiempo DE; en CH tómesese también un número cualquiera de espacios iguales al tiempo CB, y en FK un número idéntico de tiempos iguales al tiempo EF; en tal caso el espacio BG y el tiempo EI serán múltiplos iguales del espacio BA y el tiempo ED, tomados según factores cualesquiera, y del mismo modo el espacio HB y el tiempo KE serán por igual múltiplos, en una multiplicación cualquiera, del espacio CB y del tiempo FE. Y como DE es el tiempo recorrido por AB, toda la EI será el tiempo de toda la BG, dado que el movimiento se supone ser uniforme, y hay en EI tantos tiempos iguales al DE, como espacios iguales al BA hay en BG; DE modo semejante se concluye que KE es el tiempo de traslación por HB. Y dado que se supone ser uniforme el movimiento, si el espacio GB fuera igual al BH, también el tiempo IE sería igual al tiempo EK; y si GB es mayor que BH, también IE será mayor que EK; y si es menor, menor. Hay, por consiguiente, cuatro cantidades, AB la primera, BC la segunda, DE la tercera, EF la cuarta; y de la primera y la tercera, es decir del espacio AB y del tiempo DE, sean tomado como múltiplos iguales, según una multiplicación cualquiera, el tiempo IE y el espacio GB; y se ha demostrado que estos o son a la vez (una) iguales, o a la vez menores, o a la vez mayores que el tiempo EK y que espacio BH, que son por igual múltiplos de la segunda y de la cuarta: luego la primera respecto a la segunda, es decir el espacio AB respecto al espacio BC, tiene la razón que la tercera y la cuarta, es decir, el tiempo DE respecto al tiempo EF: que es lo que se quería demostrar.” [Galileo (1991): 255-6].

Contrariamente, una demostración en términos algebraicos se haría del siguiente modo: llamemos e_1 y e_2 a los espacios recorridos en los tiempos t_1 y t_2 respectivamente, y v a la velocidad del movimiento uniforme, tenemos: $e_1 = v \cdot t_1$ y $e_2 = v \cdot t_2$, de donde se sigue $e_1/e_2 = v \cdot t_1/v \cdot t_2 = t_1/t_2$. Esta simplicidad con que nosotros manipulamos símbolos algebraicos debe mucho al trabajo de Descartes en matemáticas y es indudable que esta simplificación contribuyó de manera notable en la resolución de problemas físicos.

extensión y segundo, porque Descartes debió entrever que las curvas descritas por medio de ecuaciones algebraicas podían ser consideradas como posibles trayectorias de cuerpos en el espacio y esta innovación era una pieza clave en su proyecto de física matemática.

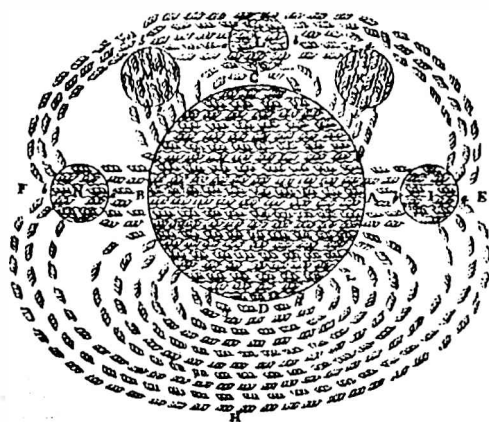
Metáforas mecánicas como explicación de fenómenos naturales

Descartes hizo un amplio uso de metáforas con máquinas en las explicaciones de un sinnúmero de fenómenos naturales. En una clasificación *grosso modo* del mundo de nuestra experiencia inmediata distinguimos entre cuerpos en inertes y vivos. Descartes consideraba que un modelo aceptable para la comprensión de los primeros es el considerarlos con una estructura corpuscular cuya descripción debía hacerse en analogía a las descripciones de máquinas de tamaño ordinario, en tanto que una alternativa para los segundos es a partir de modelos de autómatas mecánico-hidráulicos. A fin de ilustrar el tipo de explicación propuesta por el autor, presentaré a continuación un ejemplo de cada caso.

Descartes presentó explicaciones del primer tipo en *El Mundo* y sus *Principios de Filosofía*. En la primera obra y después de presentar su teoría de los elementos y las leyes del movimiento, Descartes pasa a explicar fenómenos tales como la formación del sol y las estrellas, de los planetas y cometas, la Tierra y la Luna, además de fenómenos terrestres tales como la atracción gravitatoria, las mareas, y la luz.³³ Particularmente original resulta la explicación que ofrece de las propiedades de gravedad y magnetismo. El primero de estos fenómenos es analizado tanto en *El mundo* como en su *Principia*, en tanto que el último solo aparece en el segundo de estos tratados.

Habíamos señalado que según Descartes el universo es un *plenun*, es decir un lugar donde no existe vacío. Espacio y materia están identificados en la doctrina cartesiana y por ello cada lugar del universo está ocupado por alguno de los elementos primarios o una mezcla de ellos. Partiendo de estos presupuestos Descartes ofrece una explicación de la gravedad que no supone otros elementos más allá de la materia —en cualquiera de sus tres elementos— y el movimiento. Así nos lo dice Descartes:

Deseo ahora que consideréis cual es la gravedad de esta Tierra, es decir, la fuerza que une sus partes y hace que tiendan hacia su centro, y que consiste en lo siguiente: las partes del pequeño cielo alrededor de la Tierra, girando mucho más de prisa que las de ésta en torno a su centro, tienden también con más fuerza a alejarse de él y, por consiguiente, las repelen [a las partes de la Tierra] hacia el centro. [Además, y dado que no existe] ningún espacio más allá de nuestro cielo que esté vacío, ni al que las partes de este cielo puedan ir sin entrar otras muy parecidas en su lugar, las



³³ En una segunda parte de esta obra, más específicamente en el *Tratado del Hombre*, Descartes intenta explicar el funcionamiento de las "máquinas orgánicas" de este mundo, incluidas las máquinas que son los cuerpos humanos.

partes de la Tierra tampoco pueden alejarse más que aquellas de su centro —si no es que descienden a su lugar otras del cielo terrestre en la cantidad que se precise para llenarlo— ni, recíprocamente, pueden aproximarse las del cielo sin que suban otras tantas a su lugar. De este modo, las partes están opuestas unas a otras —unas a la que deben entrar en su lugar en caso que suban, otras a las que deben entrar en caso que desciendan— como lo están mutuamente los lados de una balanza. Igual que el lado de una balanza no puede subir ni bajar sin que el otro haga al mismo tiempo todo lo contrario e igual que el más pesado vence siempre al otro, así una piedra, por ejemplo, está opuesta semejantemente a la cantidad de aire (justamente igual a su tamaño) que tiene encima y cuyo lugar ocuparía en caso de alejarse tanto del centro como para que no fuera menester que ese aire descendiera a medida que subiese. E igualmente la piedra está opuesta a otra cantidad parecida de aire situado debajo y cuyo lugar debería ocupar en caso de que se aproximara al centro, siendo necesario que al descender, ese aire subiese [Descartes (1989): 173].

En cuanto a la atracción de un imán sobre un trozo de hierro, Descartes explica este fenómeno por medio de pequeños vórtices que giran en torno a los extremos del imán. Cada uno de estos vórtices está formado por partículas invisibles que tienen forma de tornillo, la cuales pasaban por ciertos intersticios del trozo de hierro que es atraído. Esto provocaba que el metal se moviera hacia el imán y ello explicaba el fenómeno de atracción. El mismo esquema servía para explicar porque los polos de un mismo signo se repelen y los opuestos se atraen.

Tanto el caso de la atracción magnética como la gravitatoria son importantes pues muestran la forma en que Descartes explicaba los cambios cualitativos del nivel macroscópico en términos de cambios puramente cuantitativos en el nivel microscópico. Estos mismos ejemplos muestran además que las únicas propiedades de los corpúsculos que entran en una explicación son aquellas capaces de ser expresadas matemáticamente.

Descartes también propuso modelos mecánicos para la explicación de fenómenos biológicos. La siguiente es una reseña muy representativa del tipo de explicación que Descartes ofrece en su *Tratado del hombre*³⁴

En verdad puede establecerse una correcta comparación de los nervios de esta máquina que estoy describiendo con los tubos que forman parte de la mecánica de estas fuentes; sus músculos y tendones pueden compararse con los ingenios y los resortes que sirven para moverlas; los espíritus animales con el agua que las pone en movimiento; su corazón con el manantial y, finalmente, las concavidades del cerebro con los registros de agua. Por otra parte la respiración y otras actividades naturales y comunes que dependen del curso de los espíritus, son como los movimientos de un reloj o un molino que pueden llegar a ser continuos en virtud del curso continuo de agua. En tercer lugar, los objetos exteriores, cuya sola presencia actúa sobre los órganos de los sentidos, determinándola por este medio a moverse de formas varias (según estén dispuestas las partes del cerebro), son como los extranjeros que, penetrando en algunas grutas donde se encuentran instaladas estas fuentes, causan sin saberlo los movimientos que acontecen ante sus ojos... Finalmente, cuando esta máquina posea un alma racional, habrá de estar localizada en el cerebro y su función será comparable a la del fontanero, quien debe permanecer ante los registros donde se reúnen todos los tubos de estas máquinas, si desea provocar, impedir o modificar en cierto modo los movimientos de la fuente [Descartes (1990): 35-6].

³⁴ Descartes planeó una quinta y sexta parte a sus *Principia* en las que pensaba incluir sus investigaciones acerca de los seres vivientes y acerca del hombre, respectivamente. Pero este fue un proyecto que nunca llegó a materializar [Cfr. *Principia* IV, 188].

La decisión de utilizar modelos mecánicos en la descripción de fenómenos naturales también encuentra justificación en el caso de Descartes. El autor afirma que no existe diferencia entre las máquinas construidas por los artesanos y los distintos cuerpos que la naturaleza crea, excepto en cuanto al tamaño se refiere: las dimensiones de las partes de una máquina son visibles en tanto que no lo son los mecanismos que causan los fenómenos naturales. En el artículo 203 del libro IV de sus *Principia* Descartes reconstruye las razones que le llevaron a asignar formas, tamaños y movimientos determinados a las partículas imperceptibles de los cuerpos —como si las hubiese visto a pesar de que son imperceptibles— y la razón de ello, “conforme a principios muy simples y conocidísimos, cuyo conocimiento [le] ha sido dado a la mente por la naturaleza, [ha] considerado en general que puede haber ciertas diferencias principales entre los tamaños, formas y posición de los cuerpos imperceptibles por su sola pequeñez, [a pesar de lo cual] se siguen ciertos efectos sensibles de sus diversos encuentros”. Y a continuación agrega:

Después de haber observado [ciertos] efectos en objetos que pueden ser percibidos por los sentidos, juzgué que [efectos similares] surgen de hecho de la interacción de los cuerpos que no pueden ser percibidos; sobre todo, cuando parecía imposible pensar en cualquier otra explicación para ellos. Y para esto no me fueron de escasa ayuda las máquinas; de hecho no considero que haya ninguna distinción entre ellas y los objetos naturales, sino en que las operaciones de las máquinas se realizan con instrumentos tan grandes que se perciben fácilmente por el sentido, ya que eso es lo que se requiere para que sean fabricadas por los hombres. En contraposición, los efectos producidos por la naturaleza dependen, en la mayoría de los casos, de estructuras tan diminutas que escapan a nuestros sentidos [*Principia* IV, 203].

Descartes es plenamente consciente que este tipo de explicaciones tienen carácter conjetural: “y a pesar de que este método pueda permitirnos entender cómo los distintos fenómenos de la naturaleza puedan surgir, no se debe concluir que de hecho suceda en el modo propuesto” [*Principia* (IV, 204)].³⁵ Pero también sabe que sus conjeturas sólo pueden errar en suponer cierto micromecanismo cuando es otro el mecanismo que opera. De lo que tiene certeza es que nada más allá que un conjunto de corpúsculos interactuando entre sí, es el responsable de la emergencia del fenómeno.

Universo máquina

Descartes extiende las analogías de las máquinas a todo el universo y considera a éste como una inmensa máquina que funciona de acuerdo a las leyes impuestas por Dios desde el momento de la creación. En este sentido deben interpretarse las palabras de Descartes cuando hacia el final de sus *Principia* afirma que “...hasta este punto he descrito esta Tierra y todo el universo visible como si se tratara de un máquina, no consideran en él sino las formas y los movimientos” [*Principia* IV 188].

Otro hecho que abona esta dirección es la tesis cartesiana de que Dios conserva tanto la cantidad total de movimiento del universo como las leyes que rigen estos movimientos.

³⁵ Este párrafo muestra —a mi criterio— que la analogía tiene no sólo una utilidad justificacionista, sino que además sirve como fuente de heurísticas para el descubrimiento de nuevas explicaciones. Una explicación hipotética no sólo está justificada por ser análoga a otra explicación confirmada, sino que en la generación de dichas explicaciones, el investigador que utilice analogías proporcionará mejores explicaciones que otro que no lo haga. Este tesis fue presentada para el caso de Locke, pero también puede ser aplicada a Descartes [Cfr. Salvatico, Menna (1999): 404-11].

Esto permite inferir que, actuando de este modo Dios es garantía de la metáfora que considera al universo como una inmensa máquina que funcionará por siempre, de acuerdo a reglas establecidas y –probablemente– de acuerdo al designio que Dios tuvo en mente al momento de la creación. Que Descartes crea que los humanos no podemos penetrar en los misteriosos propósitos de la divinidad no es impedimento para creer que ellos existan.

Metodología mecánica

Las *Regulae* intentaron ser un método *more mathematico* capaz de sustituir al *organon* aristotélico. La lógica clásica enseñada por los escolásticos era un *ordo exponendi*, es decir un conjunto de preceptos para la exposición del edificio de la ciencia desarrollada en la Edad Media y parte del Renacimiento. Descartes se siente insatisfecho con el legado recibido y audazmente propone un nuevo método que pretende ser una alternativa metodológica: un *ars inveniendii* que automatizaría en proceso de invención científica.

Hasta qué punto este método de descubrimiento podía ser automatizado es un tópico sobre el que los estudiosos de Descartes no logran ponerse de acuerdo. A continuación expondré mi interpretación respecto de la viabilidad de automatización del método cartesiano³⁶. Dado que Descartes afirma explícitamente haber utilizado su método en el descubrimiento de la ley de refracción, presento en primer lugar el análisis este caso y luego explícito las condiciones de aplicación de este método reformulándolo en un lenguaje más “claro y distinto” que aquel que utilizara el autor, evitando de este modo, las ambigüedades que aparecen en sus escritos.

Declara que aquel que se enfrente con el problema de hallar la proporción entre los ángulos de incidencia y refracción de un rayo de luz que pasa a través de medios con diferentes densidades,

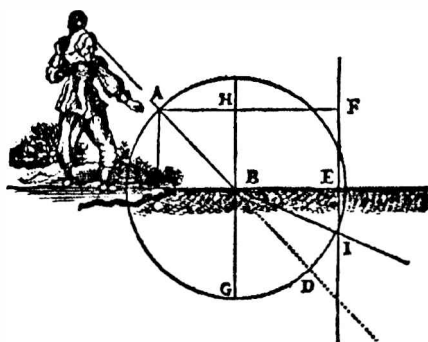
...encontrará que [esta proporción] depende del cambio de estos mismos ángulos, según la diferencia de los medios; que este cambio, a su vez, depende del modo como el rayo penetra en todo el cuerpo transparente, y que el conocimiento de esta penetración supone conocida también la naturaleza de la acción de la luz; y que, finalmente, para comprender adecuadamente la acción de la luz es preciso conocer qué es general una potencia natural -lo cual es, lo más absoluto en toda la serie. Entonces, después de comprendido esto por una *intuitus* mental, volverá por los mismos pasos de acuerdo con la regla V; y si en el segundo paso no es capaz de comprender la naturaleza de la acción de la luz, enumerará, de acuerdo con la regla séptima, todas las demás fuerzas naturales hasta comprenderla por comparación con el conocimiento de algo más, como se verá más adelante. Una vez hecho esto intentará comprender cómo el rayo penetra a través de todo el cuerpo transparente. Y así, seguirá todos los demás pasos en orden hasta llegar al anaclástico mismo [Descartes (1984): 101].

Descartes procura establecer la relación existente entre los ángulos de incidencia y de refracción cuando un rayo de luz pasa por medios de distinta densidad. Para describir el comportamiento de la luz utiliza la metáfora de una pelota de tenis que choca con una superficie permeable; supone en primer lugar que la pelota golpea la superficie en punto

³⁶ En esta sección presento una idea defendida en un trabajo titulado “Método cartesiano y descubrimiento científico”, presentado en el III seminario - taller sobre Descubrimiento Científico, realizado en la ciudad de Buenos Aires en mayo de 1997.

B de la figura 1, y que pierde una parte de la velocidad, por ejemplo la mitad; supone además que podemos distinguir entre el movimiento de la pelota y “su determinación para moverse en una dirección más que en otra” [AT VI, 97].

De esta manera podemos considerar por separado las direcciones horizontal y vertical: la dirección horizontal no se obstaculiza por el impacto de la pelota sobre la superficie, mientras que sí lo hace la dirección vertical HB. Puesto que supusimos que la pelota pierde la mitad de su velocidad en el choque, necesitará el doble de tiempo para alcanzar cualquier punto de la circunferencia -D, por ejemplo— del que emplea para recorrer de A a B. Así, en un tiempo doble la pelota viajará dos veces la distancia de izquierda a derecha.



Esta idealización permite el siguiente análisis: si vi y vr representan la velocidad del rayo incidente y del rayo refractado, respectivamente, entonces $vr = k vi$, de donde resulta $k=1/2$ por el supuesto anterior, dependiendo en cada caso medio en donde choca. Del mismo modo, ya que la velocidad en dirección horizontal no se afecta por el impacto, $vi \text{ sen } i = vr \text{ sen } r$, de lo que se deduce que $\text{sen } i / \text{sen } r = k$

Para determinar el valor de k para una combinación determinada de medios tenemos que recurrir a la experiencia:

Y aunque para determinar su cantidad (es decir, de las refracciones), ya que esto depende de la naturaleza particular de los cuerpos en las que éstas tienen lugar, es necesario recurrir a la experiencia, podemos hacerlo con mayor sencillez y certeza, ya que todos los casos están reducidos a una medida [AT VI, 102].

Repasemos una vez el planteo de Descartes: primero considera la forma de acción y propagación de la luz; segundo postula una idealización de la situación que analiza, haciendo caso omiso de características superfluas tales como el peso o el tamaño de la pelota de tenis; en tercer lugar distingue entre movimiento y dirección del mismo, y postula que la velocidad de la luz en distintos medios es constante; analiza, en cuarto lugar, la trayectoria del rayo de luz según un esquema geométrico y obtiene la ley del seno resultante; finalmente confirma la propuesta en forma experimental.³⁷

Analicemos en este último apartado las condiciones de posibilidad del método cartesiano. En primer lugar se debe señalar lo acotado del campo de aplicación del método cartesiano: sólo es posible emplearlo en situaciones idealizables por medio de un esquema geométrico. Esto se recoge en la distinción entre problema perfecto y problemas imperfectos. Un problema perfecto es aquél cuya solución está

³⁷ No se puede afirmar con fidelidad que este haya sido el procedimiento realizado por Descartes para el descubrimiento de la ley de refracción. Se trata de ofrecer una reconstrucción racional de este procedimiento de acuerdo a la evidencia textual disponible.

completamente determinada por los datos. Para proceder a la solución de este tipo de problemas Descartes es necesario que:

Primero, que exista algo desconocido o algo que se busca; segundo, se debe designar lo desconocido de alguna manera con el fin de identificarlo; y tercero se debe designar únicamente por algo que sea conocido [Descartes (1984): 135].

En cuanto a los problemas imperfectos, si bien Descartes no los define explícitamente, ofrece dos ejemplos de éstos: la naturaleza del imán y el ejemplo de tres cuerdas de diferente longitud, grosor y tensión que producen los mismos sonidos. Afirma que el procedimiento anterior sirve para resolver estos problemas, “tema que expondrá con más detalles en su lugar”. Este era el contenido proyectado del tercer conjunto de reglas que Descartes no escribió. Pero aun así, nosotros inferimos que si el autor creía que los problemas imperfectos se podían reducir a problemas perfectos, es porque estaba pensando en una modelización de la situación problemática, y en un procedimiento que podría acercarse al siguiente:

En cuanto a las reglas para la resolución de problemas perfectos, éstas pueden resumirse en las siguientes seis etapas:

1. procurar una idealización del fenómeno en estudio por medio de un modelo geométrico³⁸.
2. especificar el tamaño, la disposición y el movimiento de las partes y asignar a cada una de ellas todas las magnitudes que resulten conocidas, bien a partir de las hipótesis, bien por las disposiciones mismas de las partes.
3. elaborar hipótesis acerca de los distintos elementos que intervienen en la idealización con el fin de poder cuantificar las acciones involucradas.
4. a partir de las magnitudes conocidas y las incógnitas, plantear un conjunto de ecuaciones.
5. resolver estas ecuaciones.
6. una vez hallada la solución, comprobar si el mismo se adecua a las exigencias del modelo.

Este esquema presenta al menos dos ventajas: por un lado es concordante con la reconstrucción del descubrimiento de la ley de refracción y por otro guarda afinidad con el procedimiento descrito en las reglas V, VI y VII, donde Descartes considera que están dadas las reglas de su método³⁹.

³⁸ Con la palabra modelo traduzco el término '*modèle*' que Descartes utiliza en varios pasajes de su obra y correspondencia. Para más detalles, cfr. Clarke (1977).

³⁹ En forma esquemática las reglas pueden enunciarse del siguiente modo:

Regla V: disponer en orden aquellas cosas entre las cuales se busca una solución para un problema, a fin de descubrir alguna verdad. Reducir gradualmente las proposiciones complicadas y oscuras a otras más simples; ascender por los mismos grados desde la intuición de las más simples hasta el conocimiento de todas las demás.

Regla VI: una vez dispuesta en orden las cosas para las que buscamos solución es necesario distinguir las más simples de las más complicadas; reducir la dificultad a la mayor simplicidad.

Negación de la acción a distancia

Por otra parte Descartes introduce una noción de fuerza que —a juzgar por su definición en el artículo 43 de la segunda parte de los *Principia*— proviene “simplemente [del] hecho de que cada cosa tiende, en tanto que nada lo impida, a persistir en el mismo estado en que se halla, según queda establecido a partir de la primera ley del movimiento” [*Principia* II, 43].⁴⁰ La anterior definición de fuerza es del todo conforme al mecanicismo en su versión más pura, ya que dicha noción es completamente reducible a la determinaciones geométricas de la materia.

Por otro lado Descartes rechaza explícitamente las cualidades reales y las formas substanciales de la filosofía aristotélica, a las que contrapone la inteligibilidad de su tesis de la transferencia de movimiento entre cuerpos extensos. Al respecto Descartes afirma:

Y podemos concebir muy bien como el movimiento de un cuerpo puede ser causado por el de otro y diversificado por el tamaño, la forma, y la situación de sus partes. Pero de ningún modo podríamos comprender cómo esas mismas cosas, a saber, el tamaño, la forma y el movimiento, puedan producir naturalezas totalmente diferentes de las suyas, como son la de las cualidades reales y de las formas substanciales, que la mayor parte de los filósofos han supuesto existen en los cuerpos, ni tampoco cómo, existiendo en un cuerpo esas formas o cualidades, puedan tener la fuerza de mover a otros” [*Principia* IV, 198].

Por las razones antes expuestas y a partir del hecho de que Descartes ofreció hipótesis explicativas para la mayoría de los fenómenos naturales asociados con la existencia de fuerzas ocultas (magnetismo, gravedad, etc.) sería correcto afirmar que Descartes rechazó expresamente la acción a distancia entre cuerpos.

Regla VII: Recorrer en un movimiento continuo e ininterrumpido del pensamiento todas y cada una de las cosas que conciernen a nuestro propósito, abarcarlas en una enumeración suficiente y ordenada. [Descartes (1984): 86-94]

Y del siguiente modo las reglas del *Discurso*:

1° No aceptar nunca cosa alguna como verdadera que no la conociese evidentemente como tal, es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la prevención y no admitir en mis juicios nada más que lo que se presentase a mi espíritu tan clara y distintamente, que no tuviese ocasión alguna de ponerlo en duda.

2° Dividir cada una de las dificultades que examinase en tantas partes como fuera posible y como se requiriese para su mejor resolución.

3° Conducir ordenadamente mis pensamientos, comenzando por los objetos más simples y fáciles de conocer para ascender poco a poco, como por grados, hasta el conocimiento de los más complejos, suponiendo incluso un orden entre los que no se preceden naturalmente.

4° Hacer en todas partes enumeraciones tan completas y revistas tan generales que estuviese seguro de no omitir nada.

⁴⁰ “Y podemos concebir muy bien como el movimiento de un cuerpo puede ser causado por el de otro y diversificado por el tamaño, la forma, y la situación de sus partes. Pero de ningún modo podríamos comprender cómo esas mismas cosas, a saber, el tamaño, la forma y el movimiento, puedan producir naturalezas totalmente diferentes de las suyas, como son la de las cualidades reales y de las formas substanciales, que la mayor parte de los filósofos han supuesto existen en los cuerpos, ni tampoco cómo, existiendo en un cuerpo esas formas o cualidades, puedan tener la fuerza de mover a otros” [*Principia* IV, 198].

Eliminación del tiempo

En el apartado dedicado a la metafísica cartesiana expusimos la reducción de la realidad a lo que es concebible en términos geométricos. Considerar como esencial sólo a la propiedad de extensión evitó que Descartes aceptara a la gravedad como otro de sus atributos esenciales.⁴¹ Los cuerpos cartesianos son auténticos cuerpos euclídeos y como tales no poseen la propiedad de pesantez. Pero en segundo lugar, esta ‘geometrización a ultranza’⁴² implica también la eliminación del tiempo. En un universo puramente geométrico, la velocidad se confunde con la mera traslación. No es el caso que toda traslación implique una velocidad. La velocidad sólo puede ser considerada cuando aparte de la traslación geométrica, se considera el tiempo en que dicha traslación ocurre.

Conclusión

¿Puede considerarse la doctrina cartesiana como un caso de mecanicismo puro? La respuesta a la pregunta anterior depende de cómo se interprete la apelación que al poder divino hace Descartes. Según hemos visto, Descartes considera a la materia como pura extensión geométrica en movimiento y desde este punto de vista, el suyo aparece como un mecanicismo puro. Más aún, la ontología cartesiana considera a la materia como totalmente inerte y con capacidad de actuar sólo por la ‘fuerza del movimiento’ en colisiones con otras partes de la materia. En su rechazo a los poderes ocultos aristotélicos, Descartes llevó hasta el extremo el precepto de substituir los poderes propios de ciertos cuerpos (como el fuego o el magnetismo) por la pasividad de la materia regida por necesidad mecánica.

Por todas estas razones, el mecanicismo cartesiano aparece a todas luces como un caso de mecanicismo puro. El punto de conflicto surge del hecho de que, según Descartes, las leyes naturales que rigen el mundo físico no son intrínsecamente necesarias sino sólo necesarias en relación a la naturaleza de Dios. Expresado con otras palabras, dichas leyes naturales se justifican a partir de la naturaleza y actividad divina. En particular Descartes requiere explícitamente del concurso continuo de Dios a fin de mantener constante la cantidad de movimiento del mundo. En este sentido, las leyes del movimiento que Descartes deduce de la naturaleza de Dios actúan como causas secundarias de los fenómenos naturales.

No está del todo claro cuáles hayan sido los motivos que condujeron a Descartes a afirmar la última tesis. Una interpretación plausible es que Descartes se vio constreñido por motivos teológicos a aseverar semejante punto de vista. El punto de vista contrario que afirma que las leyes naturales son intrínsecamente necesarias implica admitir la prescindibilidad de Dios en mundo y claramente ésta era un consecuencia indeseable para cualquier filosofía de la época.

En cuanto a las posibilidades efectivas de la construcción cartesiana de una física matemática, uno de los principales obstáculos fue el hecho de que el propio Descartes hizo demandas tan estrictas que las mismas resultaban inalcanzables a partir de las herramientas matemáticas disponibles. Descartes habría necesitado del

⁴¹ Tal como sí lo hizo Galileo.

⁴² La expresión es tomada de [Koyré (1980): 316].

cálculo infinitesimal para el tratamiento de las magnitudes continuas. Y no sólo eso. A fuerza de prescindir de la exigencia cartesiana de verdades probadas, una teoría de las probabilidades para la descripción de los corpúsculos que causan los fenómenos naturales a nivel microscópico también habría resultado de mucha utilidad para su sueño de una física matemática.

Una cuestión adicional que impediría considerar a la doctrina cartesiana como mecanicista pura es su tercera ley del movimiento. En esta ley Descartes introduce elementos que no parecen reducibles a las propiedades geométricas. Esta ley afirma que, “si un cuerpo choca con otro que es más fuerte que él mismo, éste no pierde nada de su movimiento; pero chocando con otro menos fuerte pierde tanto cuanto transmite al otro” [*Principia* II, 40]. Para el caso de dos cuerpos, uno en movimiento y otro en reposo, la ley asevera que después del choque el cuerpo ‘más fuerte’ transfiere algo de su cantidad de movimiento al cuerpo ‘más débil’. Ahora bien, algunos autores consideran que la resistencia al movimiento que tiene un cuerpo en reposo introduce subrepticamente una noción dinámica que no sería deducible de las determinaciones mecánicas de la materia⁴³. Aceptar el punto de vista de estos autores nos obliga a admitir algunas nociones ininteligibles dentro de la mecánica cartesiana, hecho que se constituiría en un obstáculo adicional para considerar a esta doctrina como una instancia de mecanicismo puro.

⁴³ Por ejemplo [Gueroult (1980)] y [Hartfield (1979)]

Capítulo IV: GALILEO Y LA FILOSOFÍA MECÁNICA

Introducción

El mayor mérito de Galileo⁴⁴ consiste en haber abordado un sinnúmero de problemas particulares a los que intentó resolver por medio de las herramientas que mejor sabía utilizar: las matemáticas y la argumentación dialéctica. No obstante ello, difícilmente podría considerar a Galileo como un pensador sistemático, interesado en desarrollar y defender un sistema de filosofía acabado y completo⁴⁵. Es en este contexto de falta de sistematicidad donde la crítica de Descartes a su filosofía adquiere relevancia:

Hablando en general, encuentro que [Galileo] filosofa mucho mejor que el vulgo, en tanto que abandona los errores de las escuelas y examina las cuestiones físicas mediante razones matemáticas. En esto coincido enteramente con él, dado que yo [también] creo que no existe otro medio para llegar a la verdad. A pesar de esto, [Galileo] hace constantemente digresiones y no se toma el tiempo suficiente para examinar las cuestiones en profundidad. Y esto, en mi opinión, es un error, ya que muestra que no ha trabajado de forma ordenada y que sólo ha tratado de buscar explicaciones para algunos efectos particulares sin haber considerado las primeras causas de la naturaleza; es por esto que su obra carece de un fundamento.⁴⁶

Ahora bien, es esta misma falta de sistematicidad el primer escollo al momento de evaluar la concepción mecánica de la naturaleza de Galileo a la luz de la noción de mecanicismo puro. A pesar de ello, la filosofía natural de este autor presenta aspectos muy cercanos al conjunto de intuiciones en torno a esta posición teórica, entre los cuales destacan la matematización de fenómenos físicos y su justificación del uso de esta disciplina (las matemáticas) para la descripción de estos fenómenos.

Existe un segundo factor que dificulta analizar la filosofía natural de Galileo como un todo. Pietro Redondi refiere a cierto cambio en la concepción galileana de la naturaleza. Hasta aproximadamente el año de la publicación de *Il Saggiatore*, Galileo consideraba a la naturaleza como el reino transparente del conocimiento mecánico, un reino donde era posible demostrar “la verdadera, intrínseca y completa causa” de todas las cosas. Pero fue a partir de esa época que comenzó a considerar que “la vanidosa presunción de entenderlo todo” dio paso a docta ignorancia de los aforismos Socráticos, aquellos que proliferan tanto en la obra anterior como en el *Diálogo*. Afirma: “no hay ni un sólo efecto en la naturaleza, incluso el menor de ello, del cual los más ingeniosos teóricos puedan tener una total comprensión del mismo.” [Cfr. Redondi (1998): 185].

En lo que sigue presentaré algunos puntos de la filosofía natural galileana relacionados la noción de mecanicismo puro: la defensa del atomismo, su descubrimiento de la ley de caída, su distinción entre propiedades de los cuerpos con diferente *status* ontológico, el uso de los modelos de máquinas y aspectos generales

⁴⁴ No desconozco el hecho de que la mayor parte de los trabajos de Galileo fueron editados antes de la aparición de las más importantes obras de Descartes. Si invierto el orden cronológico en la presentación de estos autores es sólo a los fines expositivos.

⁴⁵ Evidencia adicional de su falta de sistematicidad es el hecho de que en múltiples ocasiones Galileo desconcertaba a sus adversarios coincidiendo con la opinión de Aristóteles en algunos puntos y con las de Platón en otros. Cfr. [Boido (1996): 142 y ss.].

⁴⁶ Carta a Mersenne, 11 de octubre de 1638. Traducido de Descartes [(1991): 124].

de su metodología. Cerraré el capítulo con algunas consideraciones finales.⁴⁷

Teoría(s) de la materia

Galileo abordó el problema de la estructura de la materia en diferentes épocas de su carrera intelectual. A diferencia de otras intuiciones que se mantuvieron similares a lo largo de toda su vida, su concepción atómica de la materia fue cambiando con el correr de los años. La mutación más importante respecto de su concepción ontológica fue el cambio desde un atomismo físico defendido en sus obras más tempranas, a una teoría de la materia como *continuum*.⁴⁸ Evidencias de este cambio fueron expresadas por el propio Galileo en 1634, en una carta al padre Micanzio, un discípulo del padre Sarpi. En aquella carta afirma que ya en 1616, los fenómenos de condensación y rarefacción de las substancias se le presentaban como auténticos problemas para su concepción atomista y que fueron estos problemas los que llevaron a Galileo a vislumbrar una solución: que el estado sólido de un cuerpo era efecto de pequeñas repugnancias al vacío que actuaban entre los corpúsculos de materia.

Sin pretender ser exhaustivo con las diversas opiniones en torno a la estructura última de la materia, en este apartado presentaré las opiniones de Galileo tal como aparecen en dos importantes obras: el *Discorso* de 1612 y la primera jornada de los *Discorsi e dimostrazioni matematiche* de 1638. A pesar de que es no posible adscribirle a Galileo un punto de vista semejante a la ontología presente en la definición misma de mecanicismo puro, su doctrina de la materia como *continuum* resulta importante a la hora de analizar otros aspectos de su filosofía natural, tales como su noción de movimiento. Comienzo con la primera de las obras mencionadas.

En el *Discorso intorno alle cose che stanno in sul'acqua e que in quella si muovono* —obra publicada en 1612⁴⁹—Galileo pone por escrito la discusión que hasta ese momento había mantenido con Ludovico delle Colombe acerca de la causa de flotación de los cuerpos. Fiel a la tradición aristotélica, este último autor esgrimía el caso de que un cuerpo de ébano con forma esférica se hundía en el agua en tanto que una tableta alargada de este mismo material permanecía en la superficie del líquido. El caso pretendía establecer de modo claro y concluyente que la causa de flotación de un cuerpo dependía de su forma, a la vez que apuntaba a refutar la opinión de Arquímedes que afirmaba que era la relación entre los pesos específicos del líquido y del cuerpo la verdadera causa de flotación de los cuerpos. Galileo defendía el último punto de vista y por esta razón se vio llevado a presentar argumentos que explicaran el anómalo comportamiento de la tabla de ébano.

En términos generales, la idea subyacente al argumento de Galileo era la siguiente: cuando la tabla de ébano se coloca sobre la superficie de agua, la misma hace ceder a la superficie de ésta y produce una pequeña cavidad de aire que se ubica por encima

⁴⁷ Quiero dejar constancia de la dificultad que encontré en mi análisis de la filosofía natural galileana. Si algunos tópicos de los aquí tratados acaban siendo demasiados meticulosos, ello se debe en parte a la inadecuación de los mismos con mis categorías de mecanicismo puro.

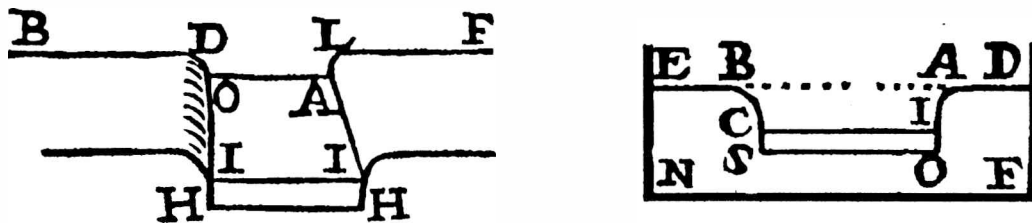
⁴⁸ Pude discutir algunas ideas en torno a la teoría de la materia en Galileo con Fernando Tula Molina. Le agradezco el haberme cedido su trabajo "Atomismo y causa física: tradiciones en conflicto tras la ciencia galileana", presentado en el VI Coloquio Bariloche de Filosofía.

⁴⁹ Esta obra tuvo dos ediciones, la primera en junio y la segunda a fines de ese mismo año.

de la tabla. Dado que el aire tiene menor peso específico que el agua, y dado que el aire y el ébano forman un nuevo cuerpo de menor peso específico que el agua, el hecho de que la tabla no se hunda es conforme al punto de vista de Arquímedes. Galileo presenta este caso del siguiente modo:

Tómese ... una tabla de ébano y ubíquese la levemente sobre el agua de manera que se mantenga allí sin hundirse y obsérvese cuidadosamente qué efecto se produce. En primer lugar se comprobará cuán endeble es la afirmación de Aristóteles y de los adversarios de que ésta flota debido a la impotencia de deponer y penetrar la resistencia de la corporeidad del agua, ya que se observará claramente no sólo que ha penetrado el agua, sino que la ha empujado por debajo de la superficie [normal], produciendo de esta manera una especie de depresión alrededor de ella, en cuyo interior yace la tableta [...]. Y de acuerdo a que el material sea dos, cuatro, diez, o veinte veces más pesado que el agua, la tableta yacerá debajo de la superficie normal del agua ese número de veces el grosor de esa tableta, como será probado más adelante. [Galileo (1981): 94-5].

Los gráficos que aparecen a continuación ilustran la reconstrucción de la experiencia



con esta tableta. Una vez comprobado que la misma penetró en el agua, y considerando que el ébano es más pesado que el agua, Galileo se pregunta qué es aquello que le impide hundirse completamente. A lo que responde que lo que realmente descende no es sólo la tableta de ébano sino una composición formada por ella y el volumen de aire que queda entre la superficie normal del agua y la parte superior de dicha tableta. De este modo concluye:

No es más ni menos falso que una tabla de ébano flote en virtud de su forma aplastada y extensa, aunque es verdad que ésta permanecerá sin sumergirse debido a que lo que ha sido puesto en el agua no es simplemente ébano, sino una agregado de ébano y aire. [Ibid.: 101]

Esta conclusión le conduce a su vez a tener que explicar cómo es posible la combinación del aire con la tableta de ébano, de modo que puedan ser considerados como un único cuerpo.

Quizás varios de los caballeros que discrepan conmigo se maravillarán de que yo afirme que el aire contiguo que está por encima de la tableta tenga la poder de sostenerla ... en el agua, como si en cierta forma yo concediera a dicho aire algún tipo de *virtú* magnética de sostener los cuerpos graves con los que está en contacto. Así, intentando sortear tantas dificultades como sea capaz, he estado pensando en demostrar con alguna otra experiencia sensata cómo aquella pequeña cantidad de aire contiguo que está por encima puede efectivamente sostener aquellos sólidos que, aunque por su propia naturaleza se irían al fondo, no se hunden cuando son colocados muy suavemente sobre el agua...

[Y] así he encontrado que un cuerpo se ha hundido en el fondo [de un recipiente], se eleva hasta la superficie si se le coloca un poco de aire sobre la parte de arriba por algún medio y sin

tocarlo, ...dado que el aire se combina con la parte superior del cuerpo y ello es suficiente ...para llevarlo hasta la superficie... Existe, entre el aire y los restantes cuerpos una cierta afinidad que los mantiene unidos. [Ibid.: 102-5].

A partir de aquí, Galileo se enfrenta a la necesidad de explicar aquella 'afinidad' o 'atracción' que ocurre entre los cuerpos y el aire. Y para ello recurre a experiencias ordinarias, tales como la resistencia que se encuentra al querer separar dos trozos de mármol con caras muy pulidas. La lisura de las caras evita que quede algo de aire entre ellas, en tanto que el aire circundante al combinarse con las caras exteriores de los trozos de mármol, hacen que ambos trozos se comporten como un único cuerpo. Afirma:

...el aire, el agua y otros fluidos se amoldan muy fácilmente a los cuerpos sólidos con los que están en contacto, de manera tal que sus superficies se adaptan hasta los más mínimos intersticios de los cuerpos sólidos, sin que nada quede entre ellos ... de esta forma, es en los fluidos, más que en los cuerpos sólidos, donde reside este poder de unión y adhesión. [Ibid.: 105]

Así, la afinidad entre los elementos fluidos y los sólidos se explica por la introducción de los partes muy pequeñas de aquellos en las partes más gruesas de éstos. Galileo sugiere que esta combinación es por sí suficiente para explicar la solidez del conjunto:

¿Y quien sabe si tal contacto, cuando es muy exacto, no sea una causa suficiente de la unión y la continuidad de las partes del cuerpo físico? [Ibid.: 105]

Paso ahora a analizar las opiniones que Galileo expresa en su obra de 1638, la última de las publicadas. Discurriendo acerca de la causa que mantiene a los cuerpos unidos, reitera la idea de que dichos cuerpos están compuestos de un conjunto muy grande de pequeñas partículas, partículas que se mantienen unidas por dos tipos de causas diferentes. Afirma:

...respecto de la resistencia a la fractura de los cuerpos cuya contextura no está compuesta de filamentos, como es el caso de las cuerdas y de la mayor parte de las maderas[,] la cohesión de las partes de aquéllos resulta, según mi punto de vista, de otras causas, las cuales se reducen principalmente a dos. Una es la tan traída y llevada repugnancia de la naturaleza a admitir el vacío; la otra (al no bastar esta del vacío) hay que buscarla en algún aglutinante, cola o viscosidad que una fuertemente las partículas de las que se componen dichos cuerpos. [Galileo (1996): 80]

A continuación el autor analiza la primera de estas fuerzas, "mostrando, con experimentos probatorios, cuánta y cuál sea su potencia." [*virtú*] Para tal fin analiza el caso de dos placas de mármol, metal o cristal, con caras muy pulidas, las que una vez puestas en contacto muestran fuerte resistencia a la separación, sobre todo cuando se intenta separarla de forma brusca y tirando en direcciones opuestas. Este fenómeno prueba "con suficiente evidencia" "el horror que tiene la naturaleza a admitir [...] el espacio que quedaría vacío entre las dos láminas" [Ibid.: 80-1].

Ahora bien, en el caso de que se levante lentamente la superior de dos láminas no tan pulidas como las anteriores (y por lo tanto con un contacto no tan perfecto como el caso anterior), se comprueba que la única resistencia que se encuentra es la de la gravedad. Pero en el caso de levantarla súbitamente, la inferior es arrastrada durante un pequeño intervalo de tiempo para caer de nuevo. Este intervalo corresponde al

tiempo necesario para que la mínima cantidad de aire interpuesto entre las dos láminas se expanda y permita el ingreso del aire circundante. Así, la misma resistencia al vacío actúa durante un lapso de tiempo suficiente para que se produzca la expansión del aire que estaba en los intersticios de las dos placas del material.

Ahora bien, Galileo considera que la causa del vacío no es suficiente, por ella sola, para dar cuenta de la cohesión de las partes de un cilindro sólido de mármol o de metal, dado que esta razón es demasiado débil para producir dicho efecto. Para demostrar la existencia de una segunda fuerza de cohesión, imagina una experiencia en la que se asume la disposición del agua a ser dividida. En un cilindro de metal o vidrio modelado con mucha exactitud se coloca un émbolo de madera (a modo de tapón) perfectamente ajustado y una barra de alambre o mármol que pasa a través del émbolo. Cuando el cilindro es llenado de agua y vuelto boca abajo, es posible medir la fuerza necesaria para hacer mover el tapón; dicha medición permite determinar la repugnancia al vacío que se produce entre las partículas de agua. La fuerza que puede producir dicho efecto es una fuerza varias veces mayor que la resistencia a vacío que analizó en primer término, estimando que la intensidad de esta segunda fuerza es cuatro veces superior a la primera fuerza, o lo que es lo mismo, que la resistencia al vacío representa “sólo un quinto de la resistencia total.” [Ibid.: 86]

Una vez establecidos estos cálculos, Sagredo demanda una explicación del aglutinante o la cola que mantiene unidas las partes del sólido, además del vacío antes mencionado. De las experiencias con metales fundidos Galileo infiere que dicha cola no se quema ni se consume, pues una vez que los metales se enfrían conservan la misma cohesión que tenían antes de licuarse. De este modo, y a pesar de que poco antes en el texto había afirmado una segunda causa de cohesión, ahora Galileo sugiere que la resistencia de los cuerpos a ser divididos puede deberse a “otros vacíos mínimos [que actúan] entre las partículas ínfimas [y] que garantizan la cohesión de todas las partes del sólido”. Afirma:

Considerando, a veces, cómo el fuego deslizándose entre las partículas más pequeñas de tal o cual metal, las cuales se encuentran fuertemente unidas, acaba por separarlas y desunirlas; y cómo cuando el fuego se retira, vuelven a unirse inmediatamente con la misma fuerza que al principio poseían sin que haya disminuido en nada la cantidad en el caso del oro, y muy poco en otros metales, incluso si han permanecido éstos separados durante mucho tiempo, pensé yo que esto podía suceder debido a que las partículas más sutiles del fuego, al penetrar por los poros estrechos del metal (a través de los cuales y dada su estrechez no podrían pasar ni el aire ni otros muchos fluidos) llenasen estos vacíos mínimos liberando así a las partículas más pequeñas de la presión ejercida por estos mismos vacíos, al atraerse mutuamente, impidiendo su separación. De este modo, al poder moverse libremente, su masa se haría fluida, permaneciendo en este estado mientras quedasen entre ellas las partículas de fuego [*ignicoli*]. Al desaparecer éstas, los vacíos primitivos volverían a su sitio, dándose de nuevo la atracción entre ellos y, consecuentemente, la unión de las partes. [Galileo (1996): 91]

Arriba de este modo a la hipótesis de los infinitos indivisibles, conjetura según la cual las pequeñas resistencias al vacío que actúan entre los intersticios que existen entre las partículas son las responsables de la cohesión entre dichas partículas, en tanto que la adición de todas ellas sería la causa de la cohesión de los cuerpos físicos. Evidencia de estos infinitos indivisibles que forman el continuo material se obtiene al observar la elevación de un peso de millones de libras que cuelga de un cable en los días de humedad o lluvia: los átomos de agua penetran los intersticios de las fibras de

la cuerda, las cuales se ensanchan y por lo tanto se acortan; y es la suma de las reducciones de estas innumerables fibras la que produce al elevación del inmenso peso. El efecto anterior se explica entonces por la adición de innumerables esfuerzos ínfimos actuante entre las partes de la materia.

Expresado en otras palabras, Galileo explica la solidez de algunos cuerpos como el efecto a nivel corpuscular del horror al vacío de la materia, lo que en términos actuales llamaríamos 'presión negativa'. Este tipo de presión actuaba en los intersticios de los corpúsculos de materia, los cuales eran separados y a la vez atraídos por vacíos microscópicos.

Ahora bien, respecto a la cantidad y a la dimensión de estos vacíos microscópicos, Galileo afirma que existen infinitos de éstos intervalos. Ante semejante afirmación, Sagredo demanda una explicación del hecho —en apariencia paradójico— de que sea posible encontrar infinitos vacíos en una extensión finita. La pregunta le da pie a Galileo para presentar un conjunto de disquisiciones acerca del infinito, en donde trata de hacer compatible su posición atomista y con su hipótesis de los infinitos indivisibles. Sus observaciones son importante en tanto anticipan algunos problemas en torno al infinito, problemas tales como la relación entre la cardinalidad de los números enteros y los números cuadrados perfectos.

Una vez dejada atrás esta desviación temática del eje central del capítulo Galileo presenta una distinción entre la constitución de los átomos de agua (y de los fluidos en general) y contextura de los átomos que forman los sólidos. A la pregunta de Sagredo de si las características fenoménicas de los fluidos serían debidas a la reducción máxima de sus indivisibles Salviati responde que “no encuentro mejor expediente para dar cuenta de algunos hechos que caen bajo nuestros ojos”. Explica que los cuerpos duros tienen la propiedad de dividirse tanto como lo permitan nuestra habilidad y los instrumentos que utilizamos en la operación, y de las partículas más pequeñas que forman el polvo del material puede afirmarse que son extensas, dotadas de formas y discretas. Sin embargo, al querer dividir un volumen de agua esos mismos efectos no aparecen. Por el contrario, el agua se desparrama si no se la coloca en recipientes, fluctúa durante bastante tiempo si se la agita, y corre rápidamente si encuentra un orificio por donde hacerlo. De este modo concluye:

Me parece que de todo esto se puede concluir, razonablemente, que los elementos más pequeños en que puede resolverse el agua (ya que ésta tiene menos consistencia que el polvo, por fino que éste sea; más aún, se podría decir que no tiene consistencia ninguna) son muy diferentes de las partículas mínimas extensas [*quanti*] y divisibles. Yo no sabría explicar esta diferencia si no es diciendo que los elementos últimos del agua son indivisibles. Me parece, también, que la perfecta transparencia del agua es un argumento muy fuerte en favor de esta hipótesis ya que si tomamos el cristal más transparente que podamos encontrar y comenzamos a romperlo y triturarlo, una vez que los hemos reducido a polvo, pierde la transparencia y esto tanto más cuanto más finamente lo pulvericemos. El agua, sin embargo, que está sumamente triturada, es diáfana. El oro y la plata, pulverizados más sutilmente bajo la acción de ácidos [*acque forti*] que lo que se conseguiría con la mejor lima, con todo, siguen siendo polvo y no se convierten en fluidos ni se licúan a no ser que los disuelvan en sus últimos componentes los indivisibles del fuego o de los rayos del sol, siendo aquéllos, creo yo, infinitos e indivisibles. [Galileo (1996): 120]

Hasta este punto he presentado las diversas y poco ortodoxas opiniones de Galileo en

torno a su teoría de la materia. El análisis muestra que Galileo no sostuvo un atomismo similar al asumido por la versión de mecanicismo puro, razón por la que su inclusión dentro del grupo de los filósofos naturales mecanicistas debe residir en otra parte. Se verá poco más adelante que su aporte más importante a esta visión de mundo consistió en matematizar —en un lenguaje geométrico— un importante número de fenómenos de movimiento.

Cualidades reales y sensitivas

Galileo ofrece una diferenciación entre cualidades objetivas y subjetivas que bien puede equipararse a la distinción entre cualidades primarias y secundarias del mecanicismo puro. Nuestro autor presenta esta doctrina en ocasión de la disputa acerca de la naturaleza de los cometas. Durante el año 1613 tres cometas hicieron su aparición en los cielos, el último de los cuales fue visible desde noviembre de ese año hasta julio del año siguiente. Fue el último de estos cuerpos el que alentó un sinnúmero de escritos en los que se discutía no sólo su naturaleza sino su significación en asuntos terrenales.

Respecto de la naturaleza de estos cuerpos había dos teorías rivales. Una afirmaba que los cometas eran fenómenos sublunares causados por la ignición de ciertos cuerpos en la esfera correspondiente al elemento fuego. La otra ubicaba a los cometas en la región supralunar a la vez que equiparaba sus propiedades con las de los cuerpos que allí existían. Un defensor del segundo punto de vista fue el jesuita Orazio Grassi, quien después de observar que la falta de paralaje de los cometas y el hecho de que el telescopio apenas aumentaba el tamaño de los mismos, concluyó que estos cuerpos debían residir en la región supralunar. Las investigaciones del padre Grassi fueron publicadas en 1619 con el título de *De tribus cometis anni MDCXVIII disputatio astronomica habita in Collegio Romano*.

Galileo tenía varias razones para creer que los cometas eran fenómenos sublunares y es en *Il Saggiatore* donde expone su punto de vista. La principal razón de Galileo para admitir una hipótesis tal era su compromiso con el copernicanismo. Esta teoría suponía dos premisas básicas: la afirmación de la existencia de un orden cósmico y la superioridad del movimiento circular como el único que garantiza dicho orden. Aceptar que los cometas residían más allá de la esfera lunar implicaba admitir cuerpos celestes cuyas trayectorias eran elipses muy alargadas y esto resultaba incompatible con la opinión sustentada por Copérnico.

A fin de argüir en favor del carácter sublunar de los cometas, Galileo refuta (o cree refutar) los argumentos presentados por sus adversarios. Grassi señalaba que los cometas debían ser objetos ubicados a gran distancia de la Tierra sobre la base de que “los objetos cercanos aumentan [su tamaño] mucho más que los objetos alejados”. Galileo señala que Sarsi (seudónimo de Grassi) no es preciso respecto de lo que considera cercano o lejano. ¿Es la Luna un objeto cercano o alejado? Si se considera un objeto alejado, de ello se sigue que —lo mismo que las estrellas fijas— aumenta poco su tamaño. Pero esto no es lo que Sarsi cree, ya que afirma que la Luna aumenta muchísimo y el cometa muy poco. A la idea de que se trata de un objeto cercano, que son los que aumentan bastante, Galileo responde que esto no puede ser así, pues para observar los objetos cercanos no se necesita alargar mucho el

telescopio, y si se requiere de ello para observar los cometas. Por lo tanto queda “hecho pedazos el arco, y concluidos los flechazos silogísticos.”

En cuanto su duración, el fenómeno de los cometas resultaba particularmente diferente del resto de los fenómenos sublunares. Relámpagos y estrella fugaces eran manifestaciones producidas por materia compuesta de elementos livianos, enrarecidos y secos en los que no hay humedad alguna. Los cometas por una materia del todo diferente. De acuerdo con el padre Grassi, los cometas perduran ardientes por muchos meses a causa de estar hechos de una materia combustible la cual es “viscosa, pegajosa, y un poco húmeda”. Galileo no acepta esta explicación y contrargumenta diciendo que si los cometas fueran hechos de una materia glutinosa y densa y que si el relámpago estaba formado por una materia enrarecida y liviana, el primer fenómeno debía ocurrir en una región más próxima a la tierra y el último en una más alejada. Pero exactamente lo contrario es lo que se observaba en el cielo: los lentos movimientos que de este a oeste tenían los cometas eran evidencia de que éstos ocurrían en una región más alejada de la tierra. El argumento de Grassi fallaba en este punto también.

El padre Grassi afirmaba —de acuerdo con Aristóteles— que era imposible para cualquier cuerpo (sean exhalaciones o balas de cañón o arcabuz) ascender hasta ciertas alturas sin quemarse, a lo cual Galileo contesta que la experiencia muestra lo contrario. Se podría lanzar miles de veces objetos de cualquier tamaño y en cualquier estación del año y se comprobaría que éstos regresan intactos a la Tierra. En esto mismo está de acuerdo el testimonio de otras personas que realizan lanzamientos de este tipo, por lo que el argumento de Sarsi no resulta admisible. Galileo también imagina las posibles respuestas a este contrargumento, y afirma que sus contrincantes siempre apelan a la falta de algún requisito para que su predicción se produzca, convirtiendo todas sus sentencias en afirmaciones *ad hoc*.

Después de presentar una larga serie de argumentos en favor de la hipótesis que deseaba defender, Galileo arriba al análisis de una proposición que será reveladora de opiniones respecto del *status* ontológico de las propiedades de los cuerpos.

Me queda ahora [...] que exprese algunas de mis ideas en torno a la proposición ‘el movimiento es la causa del calor’, mostrando de qué modo me parece que puede ser verdadera. Pero antes creo necesario hacer alguna consideración sobre lo que llamamos calor, pues dudo mucho que se haya formado entre la gente común una idea tan alejada de la verdad, ya que se cree que es un verdadero accidente, propiedad o cualidad que reside realmente en la materia que nosotros sentimos caliente. [Galileo (1991): 113].

Según Galileo, todas las substancias reales son concebidas con una forma determinada, permaneciendo en un cierto lugar y en un tiempo dado, en movimiento o en reposo, en contacto o alejadas de otros cuerpos, como uno, varios o muchos. Es indudable que estas propiedades son inseparable de la noción de cuerpo y por ello Galileo sí las consideraba como propiedades reales. En contraposición a éstas, las propiedades sensoriales, tales como los sabores, olores, y gustos son completamente dependientes de las anteriores cualidades reales y emergen a partir de la forma, el tamaño, la cantidad y el mayor o menor movimiento de los otros cuerpos. Este último es el caso del calor, el cual no es otra cosa más allá de un movimiento impetuoso de pequeñas partículas. Galileo expresa esto del siguiente modo:

Por lo tanto digo, que tan pronto como concibo una materia o sustancia corpórea, experimento la necesidad de imaginar, al mismo tiempo, que está delimitada o que tiene esta o aquella forma, que en relación a otras es grande o pequeña, que está en este o aquel lugar, en este o aquel tiempo, que se mueve o está quieta, que toca o no toca a otro cuerpo, que es una, pocas o muchas, y ni con gran imaginación puedo separarla de estas condiciones. Pero que tenga que ser blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de olor agradable o desagradable, no siento que tengo que obligar a mi mente a representármela acompañada necesariamente de tales condiciones; más bien, si los sentidos no las hubieran advertido, tal vez la razón o la imaginación por sí mismas no lo hubieran advertido nunca. Por ello, pienso que estos sabores, olores, colores, etc., por parte del sujeto en el que parece que residen no son otra cosa que puros nombres y tienen únicamente su residencia en el cuerpo sensitivo, de manera que eliminado el animal sensitivo, se eliminan o aniquilan todas estas cualidades; no obstante, como quiera que le habíamos puesto nombres particulares y diferentes de aquellos otros accidentes primarios y reales, quisiéramos creer que éstos también son verdadera y realmente diferentes de aquellos. [*Ibid.*: 115]

Galileo corrobora esta opinión imaginando la siguiente experiencia: pasa su mano encima del brazo de una estatua de un hombre y luego sobre el brazo de un hombre real. En ambas las acciones son semejantes y se limitan al movimiento de su mano y al contacto con el otro objeto. Sin embargo estas acciones semejantes producen efectos diferentes en cada cuerpo: en el caso del cuerpo animado la mano crea sensaciones táctiles, tales como un cosquilleo o una sensación de suavidad. Ahora bien, según Galileo no es adecuado afirmar que la mano tiene, además del movimiento y el contacto, la facultad del cosquilleo o suavidad, ya que en el caso del cuerpo inanimado no aparece ninguna de estas sensaciones. Más bien habría que decir que esas sensaciones pertenecen al cuerpo que siente, que las percibe y que si elimina el cuerpo animado y sensitivo, las anteriores sensaciones desaparecen. Por esta razón concluye Galileo que las “cualidades atribuidas a cuerpos naturales, como sabores, olores, colores y otras” son puro nombre, y no poseen existencia de la misma forma en que existe el movimiento.

De este se evidencia cómo Galileo defendió una distinción entre dos tipos de cualidades que se aproxima a la clasificación entre cualidades primarias y secundarias que se sigue de la noción de mecanicismo puro.

La matematización de la naturaleza: la ley de caída de los cuerpos

A Galileo se le atribuye el mérito de haber descubierto la ley de caída de los cuerpos. Esta ley puede expresarse mediante una simple proposición. Afirma que en una caída libre, los espacios recorridos en tiempos sucesivos son como los números impares, es decir 1, 3, 5, 7, etc. A pesar de su simplicidad, la elucidación de esta ley constituye uno de los hechos más fascinantes de la historia del pensamiento occidental. En este apartado presentaré las diversas etapas del pensamiento de Galileo en el descubrimiento de dicha ley. Con la presentación de este caso intento mostrar una magistral utilización de matemáticas en la descripción de un fenómeno natural.⁵⁰

Hacia 1604 Galileo había conseguido matematizar el movimiento de caída en una fórmula muy sencilla y breve; en una carta que escribe a su amigo Paolo Sarpi, Galileo afirma:

⁵⁰ Mi reconstrucción está inspirada en [Koyré (1980): II].

Reflexionando sobre los problemas del movimiento, para los cuales, y a fin de demostrar los accidentales por mí observados, me faltaba un principio completamente indudable y que pudiera poner como axioma, he llegado a una proposición que tiene mucho de natural y evidente; y, supuesta esta, demuestro luego todo el resto, en especial que los espacios atravesados por el movimiento natural están en proporción doble del tiempo y que por consiguiente, los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares *ab unitate*; y el resto de las cosas. Y el principio es el siguiente: Que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida; por ejemplo, [figura 1] si un grave cae de un punto *a* por la línea *abcd*, supongo que el grado de velocidad que tiene en *c* es al grado de velocidad que tenía en *b* como la distancia *ca* es a la distancia *ba* y así, por consiguiente, tendrá en *d* un grado de velocidad mayor que en *c* en la medida en que la distancia *da* es mayor que la distancia *ca*.⁵¹

El párrafo de la carta indica que ya hacia 1604 Galileo sabía que en la caída libre los espacios recorridos eran proporcionales al cuadrado del tiempo transcurrido. Aclara además que los espacios atravesados en dos instantes consecutivos están en la misma proporción que los números impares, es decir que si en el primer instante recorre una unidad de espacio, en el segundo instante recorrerá 3 unidades, en el tercero 5 unidades, en cuarto 7 y así sucesivamente.⁵² Ahora bien, a pesar de poder expresar mediante una razón muy sencilla cómo caen los cuerpos, Galileo reclama un “principio natural y evidente” a partir del cual pueda deducir la ley de la caída, y ello en sintonía con la tradición de derivar teoremas a partir de axiomas evidentes. Podríamos preguntarnos por qué Galileo siente necesidad de derivar la ley de caída de un principio. Koyré sostiene que Galileo no busca en este principio la causa por la cual los cuerpos caen sino la ‘esencia’ del movimiento de caída. Y para Galileo la esencia se hallaba en la definición misma de movimiento.⁵³

El principio elegido por Galileo es el siguiente: “la velocidad de un móvil que cae es proporcional a la distancia recorrida”. Ahora bien, este principio es erróneo en el sentido que la ley de caída que Galileo ya conoce no se sigue de él. Es verdad que un cuerpo que cae con caída libre aumenta su velocidad en la medida en que se aleja del punto de partida, aunque no es cierto que la velocidad se incremente en proporción directa a la distancia recorrida sino al tiempo transcurrido. Cuando se relaciona los incrementos de velocidad con los espacios recorridos, la ley que se deriva no es la ley de los números impares sino una función exponencial que Galileo estaba lejos de vislumbrar.⁵⁴

Presento a continuación un texto de Galileo en donde el autor realiza la inferencia (errónea) desde el principio a la ley:

Supongo (y podré demostrarlo) que el grave que cae naturalmente va aumentando sin cesar de velocidad en la medida en que aumenta la distancia del punto del que parte; así, por ejemplo, si

⁵¹ Galileo a Paolo Sarpi. 16/10/1604. Citado en [Koyre (1980): 76]

⁵² Notar que la suma de la sucesión de los números impares da como resultado la sucesión de números cuadrados $1; 1 + 3 = 4, 4 + 5 = 9, 9 + 7 = 16, \dots$

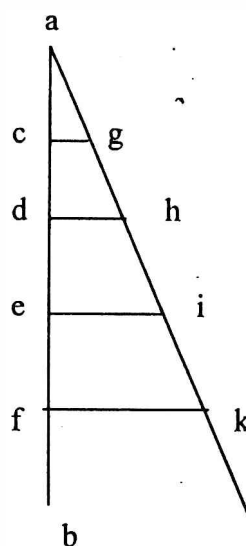
⁵³ Galileo todavía continúa creyendo que ofreciendo la definición de una cosa, se determina su esencia. Y esta es claramente la posición de Aristóteles. Cfr. *Anal. Seg.* 93b 29.

⁵⁴ En un lenguaje algebraico e infinitesimal (y por lo tanto anacrónico) el cálculo es sencillo: si $v = k s$, donde v representa la velocidad, k la constante de proporción y s el espacio recorrido, reemplazando v por ds/dt , se obtiene: $ds/dt = k s$. Haciendo traspaso de diferenciales: $ds/s = k dt$; Integrando en cada miembro se obtiene: $\mathcal{L}n s = k t + a$. Luego, por la inversa del logaritmo se obtiene $s = A e^{kt}$.

el grave parte del punto a y cae por la línea ab , supongo que el grado de velocidad en el punto d será tanto mayor que el grado de velocidad en c cuanto mayor sea la distancia da que ca ; así pues, el grado de velocidad en c será al grado en d como ca es a da , y, así, en cada punto de la línea ab el grave tendrá un grado de velocidad proporcional a la distancia de este mismo punto al punto a . Este principio me parece muy natural, y responde a todos los experimentos comprobados con las máquinas e instrumentos que actúan por percusión, donde la percusión tiene un efecto tanto mayor cuanto mayor es la altura de la caída. Y admitido este principio, demostraré el resto.⁵⁵

El párrafo muestra claramente la admisión de la proporcionalidad entre la velocidad y el espacio. Entonces continua Galileo:

Supongamos que la línea ak hace un ángulo cualquiera con la (línea) af , y que por los puntos c, d, e, f se trazan las paralelas cg, dh, ei, fk . Puesto que las líneas fk, ei, dh, cg son entre sí como las (líneas) fa, ea, da, ca (entre sí), las velocidades en los puntos f, e, d, c , son, por lo tanto (entre sí), como las líneas fk, ei, dh, cg . Los grados de velocidades aumentan, pues, en todos los puntos de la línea af , según aumentan las paralelas trazadas por estos puntos. Por otra parte, puesto que la velocidad a la que el móvil ha pasado de a a d está compuesta por todos los grados de velocidad que ha adquirido en todos los puntos de la línea ad , y puesto que la velocidad con la que ha atravesado la línea ac está compuesta por todos los grados de velocidad que ha adquirido en los puntos de la línea ac , se deduce que la velocidad con la que ha atravesado la línea ad es a la velocidad con la que ha atravesado la línea ac lo que todas las líneas paralelas trazadas por todos los puntos de la línea ad hasta ah son a todas las paralelas trazadas desde la línea ac hasta la línea ag ; y esta proporción es la del triángulo adh al triángulo acg , es decir la del cuadrado de ad al cuadrado de ac ; de este modo, la velocidad con la que se ha atravesado la línea ad guarda con la velocidad con que se ha atravesado la línea ac una proporción doble de la que tiene da respecto a ca . Y puesto que la relación de la velocidad con la velocidad está en proporción inversa de la que guarda el tiempo con el tiempo (pues aumentar la velocidad es lo mismo que disminuir el tiempo), se sigue que el tiempo del movimiento en ad guarda con relación al tiempo del movimiento en ac una proporción subduple de la que tiene la distancia ad con respecto a la distancia ac . Las distancias con respecto al punto de partida son, pues, como los cuadrados de los tiempos, y por consiguiente los espacios atravesados en tiempos iguales son entre sí como los números impares *ab unitate*; lo que corresponde a lo que siempre he dicho, y a las experiencias observadas. Y así pues, todos los hechos concuerdan. Y si estas cosas son ciertas, demuestro que la velocidad, en el movimiento violento, decrece en la misma proporción con que crece (la velocidad) en el movimiento natural a lo largo de la misma línea recta. [Ibid.: 95-6].



Repasemos las afirmaciones de Galileo. La línea ab representa la trayectoria de caída del móvil desde el punto de partida y las distintas líneas perpendiculares cg, dh, ei, fk a ab las velocidades en cada uno de esos puntos. Galileo afirma que las relaciones entre las velocidades son inversas a las de los tiempos: “la relación de la velocidad con la velocidad está en proporción inversa de la que guarda el tiempo con el tiempo (pues aumentar la velocidad es lo mismo que disminuir el tiempo)”. Escribamos en

⁵⁵Citado en [Koyré (1980): 93 y ss.]

lenguaje algebraico esta afirmación de Galileo. Él afirma que $v_d / v_c = t_c / t_d$; pero el primer cociente no es más que un cociente de cocientes $v_d / v_c = (e_d / t_d) / (e_c / t_c)$ y ello puede ser igual al cociente inverso de los tiempos sólo en el caso de que los espacios e_c y e_d sean iguales; claramente esta condición no es válida en el caso que analizamos. Galileo también afirma que la velocidad total del móvil en cualquier punto del recorrido es la suma de las velocidades instantáneas adquiridas hasta ese punto (“la velocidad con la que ha atravesado la línea ac está compuesta por todos los grados de velocidad que ha adquirido en los puntos de la línea ac ”) pero inmediatamente después Galileo iguala esta suma de velocidades con las sumas de las velocidades adquiridas durante determinado tiempo de recorrido. Y ello es erróneo, pues una acumulación de velocidades hasta cierto punto de la trayectoria no es lo mismo que la acumulación de velocidades durante el tiempo que tarda en llegar hasta ese punto de la trayectoria. Y es en este punto donde Galileo yerra, pues transfiere al espacio aquello que es válido para el tiempo. Este desliz es lo que Koyré llama ‘geometrización a ultranza’ y lo justifica en el hecho de que el espacio resulta siempre más fácilmente visualizable –imaginable—que el tiempo. Y es justamente por la facilidad de concebir una trayectoria más que imaginar un período de tiempo que Galileo prefirió el espacio allí donde debía haberse elegido el tiempo.

Resulta importante destacar que el mismo Descartes, al ser consultado por Isaac Beeckman acerca del problema de la caída, cometió el mismo error que Galileo al escoger un principio ‘evidente’ del movimiento y esta coincidencia en el error de dos de los principales matemáticos de comienzos del siglo XVII constituye una confirmación de la hipótesis de Koyré de la geometrización a ultranza. En el caso de Galileo existió una razón adicional para esta preferencia errónea: Galileo conocía muy de cerca la importante tradición de la física del ímpetus, y para esta tradición el movimiento acelerado de un cuerpo en caída libre se incrementaba en proporción a la distancia recorrida desde el punto de partida.

Una razón adicional pudo haber sido el hecho de que Galileo no consideró la causa del movimiento de caída. Galileo, que conocía los trabajos de Gilbert sobre magnetismo y de su amigo Kepler sobre la atracción magnética de la tierra, sabía porque la tierra atraía a los cuerpos; si no consideró la causa fue por lo difícil que le resultaba un tratamiento matemático de la misma. Y sin una causa el movimiento sería uniforme, un estado que se conserva; debía existir una causa actuando de forma continua para obtener un movimiento uniformemente acelerado; al renunciar a la explicación causal se refuerza esta tendencia a geometrizar el espacio y en consecuencia a eliminar el tiempo.

Pasemos ahora el tratamiento de la ley de caída que Galileo ofrece en los *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*. Al comienzo de la jornada tercera, titulada “en torno de los movimientos locales”, Galileo escribe que a pesar de ser el movimiento un tema muy viejo sobre el que se ha escrito mucho, el instituirá una nueva ciencia sobre dicha materia, la cual tratará de sus propiedades (*symptomatum*). Nos dice Salviati:

se ha fijado la atención en algunas que son de poca importancia, como por ejemplo que el movimiento natural de los graves el descenso se acelera continuamente; sin embargo no se ha hallado hasta ahora en qué proporción se lleve a cabo esta aceleración; pues nadie que yo sepa

ha demostrado que los espacios, que un móvil en caída y a partir del reposo recorre en tiempos iguales, retienen entre sí la misma razón que tiene la sucesión impares a partir de la unidad. [Galileo (1996): 279; *itálicas mías*]

En la primera parte de la jornada Galileo trata el movimiento uniforme, el cual define de la siguiente manera: "...por movimiento igual o uniforme entiendo aquel en el que los espacios recorrido por un móvil en tiempos iguales, cualesquiera que estos sean, son entre sí iguales." [Ibid.: 266]. En la segunda trata "del movimiento naturalmente acelerado" y su objetivo es

...investigar y explicar la definición que corresponde con exactitud al movimiento que nos brinda la naturaleza. [Pues] aunque sea lícito imaginar arbitrariamente ciertas formas de movimiento e investigar las propiedades que de ellas se derivan (así, aquellos se imaginaron líneas espirales o cóncavas originadas por determinados movimientos, han conseguido demostrar, de hecho, cosa que es digna de admirarse sus propiedades, argumentando *ex suppositione*, a pesar de que la naturaleza no haga uso de tales movimientos). [Ibid.: 275]

Esta es una clara alusión a *La Géométrie* de Descartes. Galileo dice que es lícito hacer este tipo de investigaciones donde se inventan movimientos que quizás no existan en la naturaleza. Y también deducir sus propiedades. Esta es la tarea de los geómetras. ¿pero por qué no puede hacerlo él, que se autodenomina matemático? Galileo está interesado en otro tipo de investigaciones. Es verdad que él es matemático, pero también es filósofo. Y como tal está investigando los movimientos que verdaderamente se dan en la naturaleza. Y de todos ellos, el que más corriente se presenta ante nosotros es el de caída de los graves.

Lo anterior nos recuerda que Galileo se halla formalmente en la misma situación que en 1605. Necesita una definición para entronizar como un principio a partir del cual derivar los accidentes del movimiento. Y continúa diciéndonos:

cuando yo observo que una piedra al descender de una altura, partiendo del reposo, adquiere continuamente nuevos incrementos de velocidad, ¿por qué no he de creer que tales aditamentos se efectúan según el modo más simple y más obvio para todos? Lo veremos fácilmente si prestamos atención en la gran afinidad que hay entre el tiempo y el movimiento. Porque así como la uniformidad del movimiento se define y se concibe por medio de la uniformidad de los tiempos y de los espacios⁵⁶, así también, por medio de la igualdad de los intervalos de tiempo, podemos concebir los incrementos de la velocidad simplemente agregados; entendiendo que ese movimiento es acelerado uniformemente y del mismo modo continuamente, siempre que en cualesquiera tiempos iguales se le vayan sobreañadiendo aditamentos iguales de velocidad. De modo que si, tomado un número cualesquiera de intervalos iguales de tiempo, a contar desde el primer instante en que el móvil abandona el reposo y comienza de descenso, la velocidad, adquirida durante el primero y segundo intervalo de tiempo, es doble de aquella que el móvil adquirió durante el primer intervalo solo; la velocidad que adquiere durante tres intervalos de tiempo, es triple; y la que adquiere en cuatro, cuádruple de la velocidad del primer tiempo. ...Y así no parece repugnar a la recta razón el admitir que el incremento de la velocidad se efectúa según la extensión del tiempo; [Ibid.: 276]

Aquí sigue toda una discusión sobre la posibilidad de que existan infinitos grados de velocidad y una alusión por parte de Sagredo que lo que él entiende por "...movimiento naturalmente acelerado es aquél en que la velocidad va creciendo a medida que crece el espacio que se va recorriendo." A lo que Salviati responde: "Es

⁵⁶Según la definición dada anteriormente de movimiento uniforme.

para mí un consuelo considerable tener un compañero tal en el error. Más aún, vuestro razonamiento parece tan verosímil y probable que nuestro mismo autor no me negó, cuando se lo propuse, que también él había incurrido durante algún tiempo en la misma equivocación.” [Ibid.: 285]

Por esta razón decíamos mas arriba que formalmente era la misma situación; porque ahora los contenidos han cambiado. La definición que usa como principio ya no es la misma que en 1604. En aquella ocasión Galileo había considerado el espacio en vez del tiempo. Ahora Galileo tiene otra definición que además de concordar en sus corolarios con las experiencias de la caída, está en armonía con el movimiento uniforme, ya que los dos son descritos en función del tiempo.

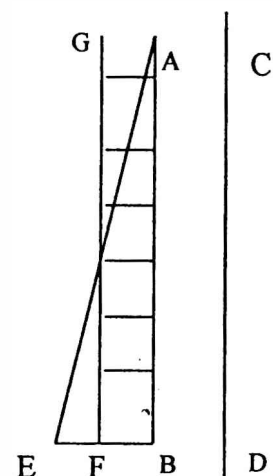
Galileo ofrece entonces una demostración por reducción al absurdo de que la proposición que había elegido en 1604 era falsa.

Si las velocidades están en la misma proporción de los espacios recorridos o a recorrerse, tales espacio son recorridos en tiempos iguales; por consiguiente, si las velocidades con las que el cuerpo en descenso recorrió el espacio de cuatro codos, fueron dobles de las velocidades con que recorrió los dos primeros codos, también en este caso los tiempos de tales recorridos son iguales. Pero que un mismo móvil recorra los cuatro y los dos codos en el mismo tiempo, no puede tener lugar fuera del movimiento instantáneo. [Ibid.: 286]

Pero nuestra meta ahora es demostrar que de la definición de movimiento acelerado se sigue los accidentes que Galileo dice que tiene; en particular la relación entre el espacio y el tiempo. Para llegar a ella parte del siguiente ‘principio’: “Acepto que las velocidades de un mismo móvil, adquiridas sobre los diversos planos inclinados, son iguales cuando las alturas de esos mismos planos son iguales”. Sagredo acepta este principio no sin algunas reservas respecto de los materiales. Y para mostrar la evidencia de su postulado, Galileo imagina el experimento del péndulo que cae desde una cierta altura y llega del otro lado de la oscilación hasta la misma altura de donde partió; lo mismo sucede cuando se interfiere su camino por medio de clavos, llegando incluso a enroscarse sobre uno que esté ubicado muy cerca de la altura a la que alcanza. El experimento es análogo a pensar que se trata de caídas sobre planos inclinados que cambian constantemente de dirección.

Claro que Galileo no cree que esto sea suficiente para demostrar dicho principio: “por ahora tomemos esto como postulado: ya después podremos ver establecida su verdad absoluta, cuando comprobemos que otras conclusiones construidas sobre tales hipótesis, corresponden y se adaptan perfectamente a los experimentos.” A partir de aquí ya está en condiciones de demostrar las dos proposiciones centrales:

Teorema I: El tiempo en el cual un espacio dado es recorrido por un móvil que parte del reposo con movimiento uniformemente acelerado es igual al tiempo en el que aquel mismo espacio habría sido recorrido por el mismo móvil con un movimiento uniforme cuyo grado de velocidad fuese la mitad del grado de velocidad máximo alcanzado al final del movimiento uniformemente acelerado precedente. [Ibid.: 292].

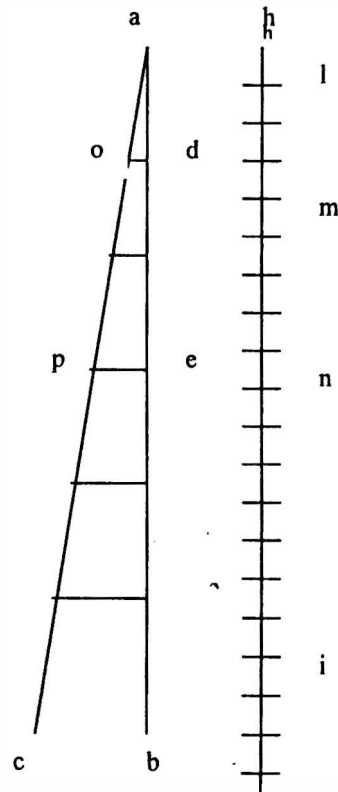


Demuestra este teorema a partir del siguiente diagrama; la línea de la derecha representa la distancia recorrida; AB es representada al tiempo del movimiento a partir del reposo y el triángulo ABE representa el incremento de velocidades, siendo el segmento EB la velocidad máxima que alcanza dicho móvil; F denota el valor medio de la velocidad final y a partir de este punto se forma el rectángulo $AGFB$. La demostración geométrica de este teorema se realiza mostrando que las superficies del rectángulo y del triángulo son las mismas.

Inmediatamente pasa al Teorema II:

Si un móvil cae, partiendo del reposo, con un movimiento uniformemente acelerado, los espacios recorridos por él recorridos en cualquier tiempo que sea están entre sí como el cuadrado de la proporción entre los tiempos, o lo que es lo mismo, como los cuadrados de los tiempos. [Ibid.: 294].

La demostración utiliza un diagrama similar al anterior donde ab representa el tiempo y ad y ae representan dos tiempos cualesquiera; la línea de la derecha es el recorrido del móvil que partiendo desde h , recorre el espacio hl en el tiempo ad y el espacio hm en el tiempo ae . El teorema afirma que las distancias hl , hm , hn , hi , guardan entre sí la misma relación que los cuadrados de los tiempos desde el inicio, es decir ad^2 , ae^2 , af^2 , ag^2 .



Los segmentos que van de ab a ac representan las velocidades alcanzadas por el móvil en cada punto; en este caso do y ep representan las velocidades máximas alcanzadas en d y e respectivamente; aplicando el Teorema I a dos instantes consecutivos, resulta evidente que los espacios hm y hl son los mismos que, con movimientos uniformes y velocidades mitades a do y ep , serían recorridos en los tiempos ea y da ; queda demostrar que hm y hl están en una razón que es igual a la segunda potencia de los tiempos ea y da .

Utilizando una proposición del libro primero, que afirma que los espacios recorridos con movimiento uniforme y velocidades distintas, los espacios recorridos en tiempos distintos tendrán entre sí una razón producto de la razón de las velocidades y la razón de los tiempos. En el caso que estamos analizando, la razón de las velocidades es idéntica con la razón de los tiempos ($1/2pe/1/2od = pe/od = ae/ad$) y por consiguiente la razón de los espacios recorridos es como el cuadrado de la razón de los tiempos.

De esta forma queda establecida la ley de caída de los cuerpos y con ella una prueba palmaria de que “la naturaleza está escrita en lenguaje matemático”. Pero incluso algo más que eso: el caso viene a mostrar cómo una adecuada utilización de las matemáticas puede develar los secretos de esta naturaleza. Acerca de este punto me explayaré con mayor detenimiento en el apartado dedicado a la metodología galileana.

Antes de acabar este apartado deseo justificar el hecho de la inclusión de la ley de caída de los cuerpos en este capítulo. La ley puede considerarse como la primer ley matemática de la naturaleza y en mi opinión esta misma ley desnuda otra de las contradicciones internas del mecanicismo. Ello es así pues por una parte se trata de una ley universalmente válida, en la que se prescinde de casi todas las propiedades no objetivas de los cuerpos. Y digo 'casi' porque es indudable que se asume el hecho de que los cuerpos son graves, es decir, tienen una tendencia a caer. Este hecho no es menor, pues es justamente la falta de una descripción causal del mecanismo de gravedad aquello que no permite calificarla como una ley natural válida para un mecanicismo puro. A pesar de esta 'impureza', la ley fue altamente estimada por filósofos naturales adherentes a los principios del mecanicismo y presentada como prototipo de ley natural.

Máquinas ideales

En este apartado presento el uso galileano de los modelos ideales de máquina en la resolución de problemas de movimiento. Según Peter Machamer, Galileo tuvo sólo unas pocas concepciones básicas que rigieron su trabajo y su vida, tanto en sus trabajos sobre astronomía, como en sus estudios sobre el movimiento. Una de estas intuiciones fue su creencia de que todo individuo que trabaje y piense correctamente, es capaz de alcanzar conocimiento y certeza. Otra de estas intuiciones refiere al modelo de inteligibilidad con el que Galileo desarrolló su filosofía natural: este modelo provendría de Arquímedes y de las máquinas simples.⁵⁷ Dado que uno de los aspectos parciales del mecanicismo puro fue el uso de metáforas mecánicas en la explicación de fenómenos naturales, a continuación presento la utilización de este recurso en el *De Motu*. Este caso surge como paradigmático de la aplicación del modelo de máquina ideal al estudio de la naturaleza.

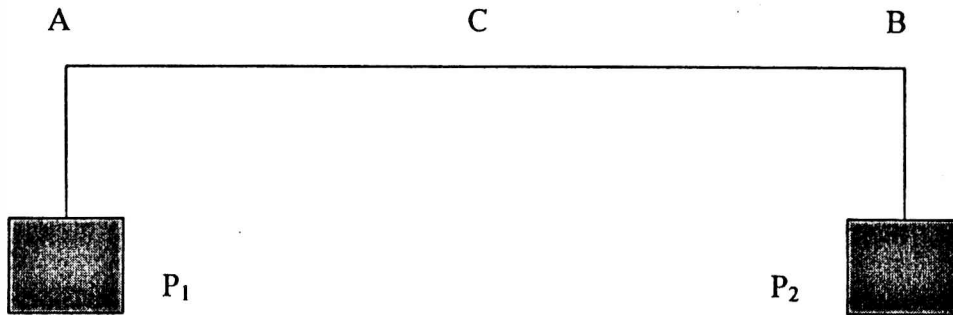
De Motu fue uno de los primeros tratados en los que Galileo muestra su habilidad como teórico. En este trabajo Galileo considera (incorrectamente) que la potencia motriz de un cuerpo sumergido en un medio está relacionado con la diferencia relativa entre su gravedad específica y la gravedad específica del medio en el que yace. Considerando la razón entre peso por volumen de un cuerpo y peso por volumen del medio, que podemos denotar por V_c / V_m , los resultados de esta razón pueden ser mayores a uno, igual a uno o menores a uno. En el primer caso el cuerpo se hunde, en el segundo queda en reposo, y en el tercero flota. Así, la razón por la cual un trozo de madera flota en el agua es debido a que un volumen de agua es más pesado que el mismo volumen de madera.⁵⁸

Los resultados anteriores son justificados por medio de una analogía con el equilibrio de una balanza: cuando dos pesos son colocados en los extremos de una balanza con brazos iguales, los pesos caen del lado en que se encuentra el peso más pesado y se mantiene en equilibrio en el caso en que ambos pesos sean iguales. El caso de equilibrio es presentado por los esquemas geométricos del tipo en que se muestra a

⁵⁷ El apartado está inspirado en [Machamer (1998): II] y confrontado con la edición de *De Motu* hecha por [Drake & Drabkin: (1969)].

⁵⁸ La explicación anterior claramente se opone a la dada por Aristóteles, para quien el mismo fenómeno se explicaba en términos de la preponderancia del elemento etéreo en la madera.

continuación:



También muestra que otras máquinas simples tales como la palanca, el plano inclinado, la polea o el péndulo también pueden explicarse por una reducción similar al caso del equilibrio de la balanza. Además del empleo de la analogía en la descripción estática del fenómeno de flotación, Galileo la extiende al caso dinámico. Las velocidades de los cuerpos que se mueven en los diversos medios está también relacionada con la razón V_c / V_m . Afirma Galileo: “un cuerpo pesado tiende a moverse hacia abajo con la fuerza necesaria para elevarlo [hasta la misma altura]; es decir, tiende a moverse hacia abajo con la misma fuerza con que resiste subir”. Así, el problema de la caída libre es tratado como un caso de flotación —o su equivalente, de equilibrio— en el que no hay peso alguno en uno de los brazos de la balanza.

Los ejemplos anterior muestra el procedimiento general de Galileo en el *De Motu*: transformar problemas sobre caídas de cuerpos en problemas de hidrostática, y luego reducir estos problemas al caso de las máquinas simples arquimedeanas. Procedimiento en esta manera, Galileo reduce un problema sobre un fenómeno natural en un problema del geométrico cuya solución le es del todo familiar. Por otra parte, esta misma estrategia sitúa a Galileo en una posición opuesta a Aristóteles. Para Aristóteles, el problema la caída de los cuerpos era un problema cualitativo y su solución venía determinada por el lugar natural de cada elemento. La solución de Galileo evita consideraciones de cualidad en tanto que sólo considera los pesos específicos de los cuerpos en caída.

Se debe indicar también que Galileo utilizó el modelo de la balanza a lo largo de toda su carrera científica. Ya hemos visto en este mismo capítulo el uso del modelo en el Discurso sobre los cuerpos flotantes de 1612, y también es utilizado en su explicación del fenómeno de las mareas tanto en tratado de 1616 (*Discorso del flusso y refluxo del mare*), como en su obra de 1632 (*Dialogo...*). Estos ejemplos proveen evidencia del uso por parte de Galileo de modelos de máquinas simples para la comprensión de ciertos aspectos de la realidad.

Las tendencias naturales como forma de acción a distancia

Galileo admitió que la gravedad (*gravità*) era una tipo de fuerza motriz en la naturaleza, la una especie de tendencia al centro determinada por la densidad del cuerpo. Dicha tendencia varia —según Galileo— según la relación que entre la densidad específica del cuerpo y la densidad específica del medio en que se halla.

En la primera jornada del *Discorsi* Galileo afirma:

He de decir, por tanto, que un cuerpo pesado tiene, por naturaleza, un principio intrínseco que lo mueve hacia el centro común de los graves (esto es, hacia el centro de nuestro globo terrestre) con movimiento continuamente acelerado. [Galileo (1996): 91]

Uno de los axiomas del programa galileano de física matemáticas era la suposición de que los cuerpos pesados o graves tenían una tendencia natural a caer hacia el centro de la tierra. Esta suposición estaba presente tanto en la deducción de la ley de caída de los cuerpos como en el estudio de planos inclinados, péndulos, y otros tantos fenómenos mecánicos abordados por Galileo.

A pesar de aceptar a la gravedad como un tipo de fuerza atractiva, Galileo comparte con la mayoría de sus contemporáneos el rechazo de las cualidades ocultas de la física aristotélica. Evidencia de esta afirmación es su declaración de que es preferible declarar la ignorancia respecto de la causa de un fenómeno particular, antes que explicarlo por alguna ficción de la imaginación u ofrecer un cúmulo de palabreríos que no afirman nada concreto. Y esto dicho en clara alusión a las desprestigiadas formas substanciales de la filosofía peripatética. Es dentro de esta precaución general que considera más ventajoso afirmar que no conocemos la causa de las mareas, que explicarlas en términos de cualidades ocultas, las cuales son “intelectualmente repugnantes”. [Cfr. Galileo (1967): IV]

Conclusiones

Los apartados anteriores muestran la existencia de algunos elementos de la filosofía natural galileana que se corresponden, en parte con la definición, y en parte con aspectos parciales del mecanicismo puro. A pesar de estas coincidencias, no sería del todo acertado considerar a Galileo como cercano a este punto de vista teórico. Ello es así debido a la falta de un pensamiento sistemático por parte de este autor. Tal como señalé al comienzo de este capítulo, el mayor mérito de Galileo consistió en haber abordado y resuelto algunos problemas considerados importantes en la época. Fueron los éxitos alcanzados en estas empresas los que facilitaron la aceptación de un punto de una visión de la naturaleza del todo opuesta a la ortodoxia escolástica. Y fueron estos mismos éxitos los que promovieron que aquellas estrategias fueran imitadas y extendidas por otros pensadores posteriores a él.

Capítulo V: EL MECANICISMO DE ROBERT BOYLE

Introducción

La elección de Boyle entre los representantes del mecanicismo del siglo XVII se justifica por ser este autor quien acuñó y popularizó la expresión '*mechanical philosophy*', además del hecho de haber presentado importantes argumentos en favor de la supremacía de esta doctrina respecto del resto de las filosofías naturales vigentes en la época.

La filosofía natural de Boyle se aproxima en varios puntos a la noción teórica de mecanicismo puro elaborada en este trabajo, pese a lo cual este autor no podría ser considerado un fiel representante de esta posición. El mayor inconveniente que impide calificarlo como mecanicista puro es su defensa de la filosofía experimental en detrimento de explicaciones puramente mecánicas. A pesar de reconocer que todos los fenómenos naturales eran *en principio* reducibles interacciones mecánicas entre corpúsculos, este autor también abogó por el uso de causas intermedias en las explicaciones de dichos fenómenos. Esta desviación particular de mi noción de mecanicismo puro es tratada oportunamente en este capítulo.

Boyle fue también un defensor del uso de causas finales en la descripción de fenómenos naturales. Dedico una sección completa a esta particularidad de su filosofía natural y en las conclusiones al capítulo muestro que ésta causas no se contraponen a la noción de mecanicismo puro.

La filosofía corpuscular y el movimiento

La concepción corpuscular de la materia desarrollada por Boyle constituye un intento de síntesis de las teorías epicúrea y cartesiana de la materia, a la vez que una refutación experimental de las teorías aristotélica y paracelseana. Epicuro defendió una proposición inaceptable para la filosofía cartesiana: que el alma es material, está compuesta de átomos y se deshace después de la destrucción del cuerpo. Contra esta reducción de las cualidades espirituales a las materiales, Descartes postulaba el dualismo entre *res extensa* y *res cogitans*. Además de esta diferencia, los epicureístas concebían a los átomos como cuerpos imperceptibles e indivisibles en cuerpos más pequeños, aceptando además la existencia de espacio vacío. En contraposición, Descartes rechazaba tanto la indivisibilidad de la materia como la existencia de vacío. Junto a estas dos teorías sobre la estructura última de la materia existían a mediados del siglo XVII otras dos: la teoría aristotélica de los cuatro elementos y la teoría de los tres *principia* o *tria prima* (sal, azufre y mercurio) iniciada por Paracelso y desarrollada por van Helmont.

Esta concepción corpuscular de la materia aparece explícitamente en el *Origen de las cualidades y formas de acuerdo a la filosofía corpuscular*, en donde afirma que la materia que forma todos los cuerpos es una y la misma.

Convengo con la generalidad de los filósofos hasta el punto de aceptar que hay una materia universal y única, común a todos los cuerpos, y por ella entiendo una substancia extensa, divisible e impenetrable [Boyle (1985): 194].

Ahora bien, por ser la materia una y la misma, la diversidad de cuerpos que

observamos en nuestro alrededor debe tener su origen en algo diferente de ella, y aquello que siendo distinto de la materia es a la vez universal, es el movimiento. Boyle introduce dicha noción de la siguiente manera:

Y puesto que no vemos cómo podría haber algún cambio en la materia si todas sus partes (actuales o designables) se hallasen perpetuamente en reposo entre sí, se seguirá que para diversificar la materia católica en una variedad de cuerpos naturales, habrá de poseer movimiento en algunas o en todas sus partes designables [*Ibid.*: 194].

Según este autor, el movimiento no es ni propio ni simultáneo con la materia, a pesar de lo cual el movimiento es una parte fundamental de la emergencia de los fenómenos naturales. Pues si bien es cierto que propiedades tales como

tamaño, forma, reposo, situación y textura se hallan en los fenómenos de la naturaleza, con todo, en comparación con el movimiento, parecen en muchos casos ser efectos, y en muchos otros, poco más que condiciones o requisitos o causas *sine quibus non* que modifican la operación que una parte de la materia ejerce sobre otra en virtud de su movimiento”. [*Ibid.*: 196].

Para ilustrar el carácter fundamental del movimiento en la emergencia de los fenómenos naturales, Boyle señala el caso de un reloj y el de una cerradura. Es indudable que en un reloj, la forma y disposición de las partes que lo componen son determinantes para su funcionamiento, pero no es menos cierto que es el movimiento de esas piezas lo que permite que el mecanismo realice la función para la cual fue diseñado. Lo mismo sucede con una cerradura, en la que el movimiento de la llave hacia un lado u otro es lo que permite que las mismas abran o cierren una abertura.

Además de diversificar la materia universal, el movimiento “divide naturalmente a la materia a la que pertenece en fragmentos o partes concretas”, partes que son en extremo diminutas a punto tal que son imperceptibles aisladamente. Denomina a estos fragmentos mínimos en los que se divide la materia ‘*minima naturalia*’ y afirma que cada uno de ellos, del mismo modo que los cuerpos formados a partir de ellos, “poseen su magnitud o tamaño determinado, así como su propia forma. [Y] que estos tres, a saber, tamaño forma, movimiento o reposo (sin ninguno intermedio entre estos dos últimos) son los modos o afecciones primarias o más universales de las partes insensibles de la materia consideradas cada una de ellas por su parte.” [Boyle (1985): 241].

Boyle descalifica los debates metafísicos suscitados en torno a la naturaleza de la materia, tales como la cuestión de si ésta es indefinidamente divisible o si por el contrario existe un límite para dicha división, o el problema de la existencia de espacios vacíos. Expresa su posición en el prefacio de un escrito titulado *Algunos especímenes de un intento de hacer los experimentos químicos útiles para ilustrar la filosofía corpuscular* de 1661. Según los atomistas —a quienes identifica con los epicureístas— los constituyentes mínimos del mundo eran partículas indivisibles de diámetro fijo moviéndose en un espacio vacío. Según sus adversarios corpuscularistas (cartesianos), la materia era indefinidamente divisible y el espacio vacío no era más que la relación entre los cuerpos. Boyle observa que a pesar de estas diferencias, las dos escuelas pueden considerarse como una única filosofía ya que “tanto los cartesianos [corpuscularistas] como los atomistas explican los mismos fenómenos mediante cuerpos pequeños con diversas figuras y movimientos” [Boyle

(1985):191].

Boyle tuvo una actitud renuente hacia la aceptación de leyes naturales. Rechazaba la opinión de los antiguos filósofos corpusculares que, al no reconocer un 'Autor' del universo, afirmaban que el movimiento se daba junto con la materia y era por consiguiente simultáneo con ella. Y en contra de la opinión de aquellos argumentaba que la materia sigue siendo la misma sin importar el estado en que se encuentre, es decir, en reposo o movimiento; y estando en reposo, continúa así a no ser que otros cuerpos la saquen de ese estado, y lo mismo puede decirse del estado de movimiento. Así Boyle —en plena coincidencia con el 'excelente *Des Cartes*'— estaría aceptando la validez del principio de inercia para los cuerpos naturales, aunque para ser justos se debería decir que éste es un párrafo aislado de su obra y que en escasos lugares admite explícitamente la validez de una ley natural.

Marie Boas Hall señala tres razones por las cuales Boyle eludió presentar una teoría acerca de la estructura de la materia en todos sus detalles. En parte se debió a cierta estrategia por parte de Boyle, quien creía que podía ganar mayor cantidad de adeptos a esta filosofía si mostraba la amplitud de áreas donde ésta se aplicaba; en parte también se debió al temperamento del propio Boyle, quien en reiteradas ocasiones se mostró incapaz de ofrecer un desarrollo completo de algún tema; y también en parte se debió a sus convicciones, ya que era consciente que una teoría minuciosa debía estar basada más en consideraciones lógicas que experimentales. Todas estas razones explican el hecho de que Boyle ofrezca una teoría de la materia poco refinada como ilustraciones de sus investigaciones físicas y químicas. [Cfr. Hall (1965): 68]

Cualidades primarias y secundarias

Boyle señala una clasificación entre cualidades que reproduce directamente la distinción entre cualidades primarias y secundarias. Dado que no existe más que una materia común, toda la diversidad que se observa en la naturaleza ha de provenir del modo en que se divide y se mueve la materia. En el párrafo anterior mencioné las afecciones primarias de los cuerpos, entre los que este autor señala a la magnitud o tamaño, la forma o figura y el movimiento o reposo (sin ninguno intermedio entre estos dos últimos). Estas afecciones primarias se amplían cuando se consideran dos o más corpúsculos de materia. La "posición o postura" resulta de considerar el lugar que ocupan respecto de un marco de referencia, por ejemplo al decir que una partícula está levantada, inclinada o a nivel del horizonte. El "orden o colocación" indica si una partícula está "delante, detrás o al lado" de otra. Por último, la 'textura' de un conjunto de partículas reunidas en un cuerpo es una combinación de sus afecciones primarias, de su posición y su orden.

De esta forma Boyle enumera "[todas] las afecciones que pertenecen a un cuerpo considerado en sí mismo sin relación con los seres sensibles u otros cuerpos animales." [Boyle (1985): 242] y las contrapone a las cualidades cuyo nombre proviene de la forma en que las cualidades primarias actúan sobre los órganos sensoriales de los hombres.

Que habiendo, sin embargo, en el mundo hombres cuyos órganos de los sentidos están organizados de tales modos diferentes que un sentido es adecuado para recibir las impresiones de unos tipos de objetos o cuerpos externos y otros las de otros (sea que actúen como cuerpos

enteros, por emisión de sus corpúsculos o por su propagación de algún movimiento a los sentidos), los hombres llaman a las percepciones de esas impresiones mediante diversos nombres, como calor, color, sonido, olor, imaginando ordinariamente que proceden de ciertas cualidades distintas y peculiares de los objetos externos que poseen cierta semejanza con las ideas que su acción sobre los sentidos excita en la mente, por más que no quepa duda de que todas estas cualidades sensibles y todo lo demás que se halla en los cuerpos externos a nosotros no sean sino efectos o consecuentes de las arriba mencionadas afecciones primarias de la materia, cuyas operaciones se diversifican según la naturaleza de los sentidos u otros cuerpos sobre los que actúan [Ibid.: 242].

La relación entre cualidades primarias y secundarias se advierte en el siguiente ejemplo: cuando un pulidor bruñe un trozo rugoso de plata, no está haciendo otra cosa que disminuir las pequeñas protuberancias del metal, poniéndolas al mismo nivel que el resto de la superficie. La sensación de lisura que los humanos experimentamos al tocar la pieza, se produce por la desaparición de esas pequeñas rugosidades que actuaban sobre las yemas de nuestros dedos, aunque lo que en realidad aconteció entre el antes y el después del lustrado no haya sido más que un cambio mecánico de la textura de las partes superficiales.

El rol de la matemática en la descripción del mundo físico

La actitud de nuestro autor respecto de las matemáticas difiere de forma significativa del punto de vista de Descartes o Galileo. Hemos visto que Descartes propició un conocimiento de la naturaleza que poseyera una certeza correspondiente al de las matemáticas, en tanto que Galileo creía que los razonamientos matemáticos en la descripción del mundo natural permitían arribar a conclusiones en las que el hombre comprendía la necesidad de dichas conclusiones. Boyle tuvo una actitud vacilante respecto del uso de las matemáticas en filosofía natural y esta cuestión es aun tema de discusión entre sus estudiosos.

En ciertos pasajes se sugiere que entrevió la supremacía de las matemáticas para una descripción de los fenómenos físicos en los que sólo se utilizaban las propiedades mecánicas de la materia. Afirmaba que

es verdad que la materia, o cuerpo, es el objeto de las especulaciones del naturalista; pero si fuese cierto que la mayor parte, si no todas, las operaciones de las porciones de esa materia... una sobre la otra, dependiesen de las modificaciones que su movimiento local recibe de su magnitud y figura —como las principales afecciones mecánicas de las partes de la materia— apenas podría negarse que el conocimiento de lo que son las figuras, por ejemplo, con más o menos espacio, con propensión o rémora para el movimiento o el reposo, para penetrar o resistir la penetración, para que una sostenga a otra, etc., deben ser de un uso constante en la explicación de los fenómenos de la naturaleza. [Boyle (1672): III, 425-6].

Así, sobre la base de que pequeñas diferencias en el volumen, las formas y el movimiento de las partículas de materia son suficientes para producir las innumerables combinaciones que se presentan en los fenómenos de la naturaleza, Boyle parece adscribir a la idea que un conocimiento de estas propiedades matemáticas es suficiente para una descripción completa de los fenómenos naturales.


Por otra parte, en un artículo titulado “De la utilidad de las matemáticas para el filósofo natural, o que el imperio del hombre puede ser impulsado por la habilidad de los naturalistas en matemáticas” Boyle señala una serie de ventajas de las

matemáticas para el filósofo experimental. Una de estas ventajas es que dicha disciplina

tiende hacer a los hombres exactos y muy atentos en los trabajos a los que están abocados, evitando que sus pensamientos se desvíen e inculcándoles la paciencia necesaria para revisar tediosas e intrincadas demostraciones; además, mejora en mucho a la razón, acostumbrando a la mente a deducir sucesivas consecuencias y a juzgar estas mismas consecuencias sin asentir en ninguna otra cosa que no sea una demostración [rigurosa]. Así, y considerando que el poder del hombre sobre el resto de la criaturas depende en su mayor parte del conocimiento, “todo aquello que tienda a incrementar este conocimiento, significará seguramente un incremento en su poder.

Creo conveniente mostrar sucintamente un experimento en donde el autor muestra la

utilidad de las matemáticas en la filosofía experimental. En el experimento “relativo a la medida de la fuerza del resorte del aire comprimido y dilatado” Boyle intentó confirmar la proporcionalidad inversa entre la elasticidad y densidad del aire. El experimento consiste de un tubo de vidrio con uno de los extremos taponado y doblado en forma de ‘U’. Comienza vertiendo mercurio por el extremo abierto de manera tal que el líquido quede más arriba de la torcedura del tubo. Entonces Boyle conjetura que el aire contenido en el extremo cerrado del tubo se constreñirá ante la presión del peso de la columna de mercurio que vierta en el extremo abierto. Y la condensación estará en proporción a la presión de la columna de aire que está encima de la columna de mercurio, por esta razón la conjetura establece que a una presión doble,⁵⁹ el aire encerrado en el tubo se condensará a la mitad. Registra en una tabla las cantidades de mercurio que actuaban como peso en el extremo largo del tubo y la disminución de la columna de aire encerrado que se comprime a causa de dicho peso y “con deleite y satisfacción” encuentra una corroboración de la hipótesis de que el resorte del aire, es decir su resistencia a la comprensión, es proporcional a la presión ejercida sobre dicho volumen.⁶⁰



A	A	B	C	D	E
48	12	00		29 $\frac{1}{8}$	29 $\frac{1}{8}$
46	11 $\frac{1}{2}$	01 $\frac{7}{8}$		30 $\frac{1}{8}$	33 $\frac{1}{8}$
44	11	02 $\frac{1}{4}$		31 $\frac{1}{8}$	31 $\frac{1}{8}$
42	10 $\frac{1}{2}$	04 $\frac{1}{4}$		33 $\frac{1}{8}$	33 $\frac{1}{8}$
40	10	06 $\frac{1}{4}$		35 $\frac{1}{8}$	35 -
38	9 $\frac{1}{2}$	07 $\frac{1}{4}$		37	36 $\frac{1}{8}$
36	9	10 $\frac{1}{8}$		39 $\frac{1}{8}$	38 $\frac{1}{8}$
34	8 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{8}$		41 $\frac{1}{8}$	41 $\frac{1}{8}$
32	8	15 $\frac{1}{8}$		44 $\frac{1}{8}$	43 $\frac{1}{8}$
30	7 $\frac{1}{2}$	17 $\frac{1}{8}$		47 $\frac{1}{8}$	46 $\frac{1}{8}$
28	7	21 $\frac{1}{8}$		50 $\frac{1}{8}$	50 -
26	6 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{8}$		54 $\frac{1}{8}$	53 $\frac{1}{8}$
24	6	29 $\frac{1}{8}$		58 $\frac{1}{8}$	58 $\frac{1}{8}$
23	5 $\frac{1}{2}$	32 $\frac{1}{8}$		61 $\frac{1}{8}$	60 $\frac{1}{8}$
22	5 $\frac{1}{4}$	34 $\frac{1}{8}$		64 $\frac{1}{8}$	63 $\frac{1}{8}$
21	5 $\frac{1}{8}$	37 $\frac{1}{8}$		67 $\frac{1}{8}$	66 $\frac{1}{8}$
20	5	41 $\frac{1}{8}$		70 $\frac{1}{8}$	70 -
19	4 $\frac{1}{2}$	45 -		74 $\frac{1}{8}$	73 $\frac{1}{8}$
18	4 $\frac{1}{4}$	48 $\frac{1}{8}$		77 $\frac{1}{8}$	77 $\frac{1}{8}$
17	4 $\frac{1}{8}$	53 $\frac{1}{8}$		82 $\frac{1}{8}$	82 $\frac{1}{8}$
16	4	58 $\frac{1}{8}$		87 $\frac{1}{8}$	87 $\frac{1}{8}$
15	3 $\frac{1}{2}$	63 $\frac{1}{8}$		93 $\frac{1}{8}$	93 $\frac{1}{8}$
14	3 $\frac{1}{4}$	71 $\frac{1}{8}$		100 $\frac{1}{8}$	99 $\frac{1}{8}$
13	3 $\frac{1}{8}$	78 $\frac{1}{8}$		107 $\frac{1}{8}$	107 $\frac{1}{8}$
12	3	88 $\frac{1}{8}$		117 $\frac{1}{8}$	116 $\frac{1}{8}$

Sumado a 22 $\frac{1}{8}$ da

Este caso mostraría el hecho de que para nuestro autor, el mayor servicio de las

⁵⁹ Una presión doble equivale a dos veces unas 29 pulgadas de mercurio.

⁶⁰ “[E]s evidente que el aire común, cuando se reduce a la mitad de su extensión habitual, adquiere un resorte algo así como cerca del doble que el que tenía antes; de manera que al embutir de nuevo este aire así comprimido en la mitad de este estrecho espacio, adquiere con ello otra vez un resorte... cuatro veces más fuerte que el aire común.” [Boyle (1985): 79].

matemáticas a la filosofía natural era el de servir de auxilio en la descripción de los fenómenos empíricos, más que el de proveer de un lenguaje para la descripción exhaustiva de los componentes últimos de la materia. Se verá más adelante que esta interpretación está en concordancia con la preeminencia dada a la filosofía experimental.

Más allá de estos dos usos diferentes de las matemáticas en filosofía natural, en otros pasajes Boyle afirma que la certeza matemática en filosofía natural debía considerarse como un “dogmatismo intolerable” y esta posición evoca muy de cerca la posición de Bacon respecto de esta ciencia. Steven Shapin ha mostrado que Boyle considera inapropiado el uso de las matemáticas por al menos cuatro motivos: primero, que las matemáticas restringían el número de eventuales participantes de la comunidad experimental; segundo, que esta ciencia podría crear expectativas de certeza y precisión que resultan inadecuadas para las investigaciones naturales; tercero, que sugeriría puntos de vista acerca de las leyes naturales y de la relación entre Dios y el mundo natural que resultaban erróneas e incluso peligrosas; y cuarto, que el mundo en el que operan los experimentalistas era diferente del mundo idealizado por las matemáticas. Cfr. [Shapin (1988)].

Las metáforas mecánicas

No contentándose con meras correlaciones numéricas de fenómenos, el compromiso con una filosofía corpuscular se reflejó en la necesidad de exponer las causas de los fenómenos bajo investigación. En un trabajo titulado *Una explicación de la rarefacción*, Boyle presenta dos modelos mecánicos de aire. El primer modelo propone que las partículas de aire son una especie de resorte enrollado: supone que las partículas del aire tiene la forma de una cinta; es decir, que son como *laminae* muy largas, estrechas, finas y flexibles, enrolladas o enroscadas como lo está un cable, una cinta, un resorte de reloj, etc. Supone que todas tienen la misma longitud y que cada una de ellas (así enrolladas) tiene un movimiento circular innato, de lo que resulta que cada una describe una esfera de diámetro igual al de las *laminae*. Por el movimiento, las partes de estas cintas tienden a alejarse del centro de movimiento, y ello en proporción a la velocidad de giro. Así, “estos cuerpos con resorte, dotados de esta forma y este movimiento, se bastan para producir” ... “fenómenos” tales como la expansión, la rarefacción por el calor y otros tantos fenómenos observables. Cfr. [Boyle (1985): 94-6].

El segundo modelo de aire es tomado en las “obras filosóficas ...de Monsieur *Des Cartes*”, más específicamente de sus *Principia philosophiae*, donde aquel autor explica la rarefacción por medio de la intrusión de corpúsculos del elemento más sutil entre los intersticios que existen entre los corpúsculos del aire. Según esta explicación, a medida que las partículas de aire giran sobre si mismas se expanden o se alargan resistiendo de este modo el ingreso en su vórtice de cualesquiera otras partículas así agitadas.

En otra parte de sus escritos Boyle retoma estos dos modelos mecánicos de aire y declara:

no deseo inclinarme por ninguno de ellos en contra de otro, [...] declinaré enzarzarme en un

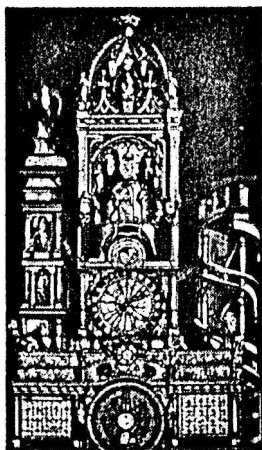
tema mucho más difícil de explicar de lo necesario para aquél cuyo objetivo no es [...] asignar una causa adecuada del resorte del aire, sino tan solo manifestar que el aire posee resorte, haciendo relación de algunos de sus efectos. [citado en Boyle (1985): 98 nota].

Así, si bien la búsqueda de modelos mecánicos que expliquen los fenómenos naturales se repite con frecuencia en su obra, Boyle poseía a la vez una actitud escéptica respecto de la viabilidad de este proyecto. Las explicaciones mecánicas eran las más fundamentales y aquellas que mejor captaban el real comportamiento de la naturaleza en sus componentes más básicos. Sin embargo, este tipo de explicación no siempre era asequible al conocimiento humano.

Universo - máquina: el reloj de Estrasburgo

Según Boyle, nuestra actitud en la comprensión de la naturaleza debe ser tal que podamos llegar a asimilar el universo con una pieza de relojería. Y ello es así, pues

la estructura del mundo [es...] como un fecundo mecanismo, [...] como una máquina que está constituida por distintas máquinas menores. Y esta máquina así constituida, en conjunción con las leyes del movimiento libremente establecidas y aún mantenidas por Dios entre sus partes, las considero como un principio complejo, de donde emerge el orden establecido o el curso de las cosas corporales [Boyle (1996): 40].



El mecanismo preferido por Boyle para ilustrar su concepción del universo fue el reloj de Estrasburgo. Este reloj era un complejo mecanismo que no sólo marcaba la hora del día y anunciaba el día y mes del año, sino que además tenía varios autómatas entre los cuales se destacaba un gallo mecánico que emitía un sonido particular y agitaba sus alas cada mediodía. La analogía, además de equiparar el universo con una máquina de relojería tenía el agregado de insinuar la acción de un artífice o constructor: de la misma manera que un relojero idóneo era capaz de construir semejante máquina, un artífice competente fue capaz de construir el universo y todos los seres que lo habitan.

Las diversas piezas que conforman la ingeniosa máquina de Estrasburgo se hallan tan bien ubicadas y adaptadas, y poseen además un movimiento tal que, aunque [parezca] que los numerosos engranajes y varias partes de ella se muevan indistintamente y [...] sin un designio predeterminado [... en realidad] cada parte realiza su función de acuerdo a un determinado fin, fin para el cual fue concebida; y lo hacen de forma tan regular y uniforme que parece que conociera y estuviera preocupada en realizar su cometido [Boyle (1663) en Hall (1965): 146].

También en *A Free Inquiry* Boyle afirma la analogía entre el universo y el mecanismo de un reloj. Admite que el mundo es como un reloj que, como aquel de Estrasburgo, todas sus piezas están tan hábilmente dispuestas y construidas de manera que, una vez puestas en marcha, todas proceden de acuerdo al diseño del artífice. Y los movimientos de las pequeñas estatuas que a determinadas horas realizan éste o aquel movimiento no requieren —como las marionetas— de una intervención peculiar del artífice o de un agente inteligente empleado por éste, sino que realizan sus funciones en virtud de la disposición primaria de toda la maquinaria [Boyle (1996): 13].

Por último, la idea de concebir al universo en analogía con una máquina aparece en el *Origen de las formas y cualidades*. Afirma allí que no debemos considerar al universo como un montón de materia inmóvil e informe, sino como “una gran máquina” cuyas partes, al estar próximas entre sí, son impulsadas, estorbadas o modificadas por la acción de otras partes. Y esto

a la manera en que, en un reloj, una pequeña fuerza aplicada a mover la aguja hasta el número XII hará que el martillo golpee frecuente y enérgicamente contra la campana, provocando una conmoción entre las ruedas y pesos mucho mayor de la que ejercería una fuerza mucho mayor en caso de que la textura y disposición del reloj no contribuyese poderosamente a la producción de tan notable efecto. [Boyle (1985): 215].

Puede decirse entonces que para Boyle el universo es un fascinante e intrincado mecanismo que no es gobernado por el azar como defendían los Epicúreos ni por las fuerzas ocultas aristotélicas, sino por las leyes racionales que Dios le comunicó en el momento de la creación. La analogía entre el funcionamiento del universo y la marcha de un reloj es conveniente en tanto sirve como fuente de heurísticas para la descripción de los fenómenos naturales. Según este autor, la mayor parte del plan divino del universo es asequible al conocimiento humano y la forma de lograrlo es por medio de la filosofía experimental.

Límites en las explicaciones mecánicas: la gravedad

Boyle reconoce en todo momento las dificultades que existen cuando se quiere explicar ciertos fenómenos naturales en términos de las afecciones mecánicas de la materia, a pesar de existir otros que sí admiten este tipo de explicaciones. Consideraba como “muy adecuado y altamente útil, que personas versadas en principios matemáticos y artefactos mecánicos se aboquen a explicar los más importantes modos o cualidades de la materia, tales como el calor, el frío, ...[y otras tales como] la fluidez, la fijeza, la flexibilidad, etc.” Pero al mismo tiempo reconoce la dificultad de hallar este tipo de explicaciones. Por ello consideraba

que no debemos desmerecer todas aquellas explicaciones de efectos particulares que no sean directamente deducidas de las afecciones primitivas de los átomos o las partes insensibles de la materia; sino derivadas de cualidades corrientes —aunque no generales— de las cosas, tales como frío, calor, peso, dureza, y otras por el estilo. Y quizás [hasta] no sea más ventajoso para el naturalista una explicación de tales cualidades a partir de los elementos más primitivos y simples, que aquella que sea dada en términos de fenómenos particulares. Pues aunque existen en la naturaleza cosas que pueden ser fácilmente explicados a partir del tamaño, movimiento y figura de las partes de la materia, con todo existen otras que no pueden ser explicadas sin un discurso de cierta longitud y varias deducciones sucesivas de unas cosas a partir de otras; [... en cambio,] si estuviéramos autorizados a considerar las nociones de frío, calor, y cualidades de este tipo como básicas, las explicaciones y pruebas podrían ser logradas de forma más sucinta. [Boyle (1999): vol. II, 22-3]

Entre los fenómenos que no logran una resolución satisfactoria en términos de propiedades mecánicas de la materia este autor incluye a la gravedad. Afirma que

Aquel que pueda dar una razón de por qué las piedras, el hierro y todos los otros cuerpos pesados flotan en el mercurio pero no así el oro, el cual se hunde en este líquido, y al hacerlo afirme que todos aquellos cuerpos son en especie más livianos que el mercurio en tanto que el oro es más pesado, de aquel, afirmo, se podría decir que ha dado una razón de lo que se

proponía explicar, que no es otra cosa que el fenómeno conocido como la afección de la mayoría de los cuerpos de la tierra, fenómeno al que denominamos 'gravedad'; y aunque si bien aquel no deduzca este fenómeno a partir de los átomos, ni nos ofrezca la causa de la gravedad, [y al hacerlo no obrará de forma diferente a como lo hicieron la mayoría de los filósofos] ya que apenas se puede decir que alguno de éstos nos haya dado una explicación satisfactoria de este fenómeno. [Ibid.: 22]

Esta misma limitación se evidencia en la explicación de otras varias propiedades de los cuerpos. Por caso, el fenómeno de la elasticidad es explicado a partir de la elasticidad de los resortes de las partículas que forman a los cuerpos elásticos, o bien a partir de suponer elasticidad en los corpúsculos de aire que llenan los intersticios de algunos cuerpos. Y del mismo modo explican varias propiedades los médicos, cuando afirman que el ruibarbo es catártico u otras substancias sudoríferas, otras diuréticas, y otras narcóticas. [Cfr. Boyle (1999): vol. II, 23 y ss.]

Que Boyle no haya intentado explicar la gravedad a partir de las afecciones mecánicas de la materia también queda evidenciado en el siguiente párrafo, tomado de sus *Hydrostatical Paradoxes*:

[Más allá de que] la causa de la gravedad sea una presión de alguna substancia superior, o la atracción magnética de la Tierra, [...] existe en todos los cuerpos pesados en cuanto a tales, una tendencia constante hacia el centro o hacia las partes más profundas de la Tierra; [y] no me queda claro por qué esa tendencia o empeño debería ser destruida por la interposición de cualquier otro cuerpo pesado; [Boyle (1999): vol. V, 218].

Metodología: la filosofía experimental

Boyle continuó la tradición experimentalista iniciada por Bacon. Al igual que este último, se lamentaba de la falta de una historia natural completa que permitiera inducir leyes generales y señalaba a esta carencia como la principal dificultad que encontraba al investigar la naturaleza de las cualidades. Afirmaba que

estamos evidentemente faltos de [una base] sobre la que una teoría, que sea sólida y útil, debe construirse; me refiero a una historia experimental de estas cualidades. Y de ésta estamos tan escasos, que excepto quizás lo que los matemáticos han hecho respecto de los sonidos, y las observaciones (más que los experimentos) que nuestro ilustrísimo Veruliano expuso en su corto ensayo sobre el calor; yo no conozco ninguna otra cualidad de la cual algún autor tenga una historia competente [Boyle (1772): III, 12].

El desarrollo de la historia natural que él mismo propició y el lenguaje coloquial que utilizó en sus informes son una muestra clara de sus intentos por ejecutar el programa baconiano de promoción del conocimiento.

Además Boyle concibió a los largos y tediosos informes experimentales no sólo como vehículos de transmisión de nuevos conocimientos sino como instancias de la correcta utilización del método experimental, tanto en la confirmación de hipótesis como en la provisión de evidencia para la construcción de nuevas hipótesis. Este procedimiento se ve expresado en la parte experimental del trabajo *Acerca del origen y la producción mecánica de las cualidades*, en donde analiza las cualidades del calor, la cohesión, la fluidez, la solidez, la corrosividad, la precipitación química, la gravedad, el magnetismo, la electricidad, el color, la luz y el fuego.

Boyle elogiaba frecuentemente la base experimental sobre la que basaba los

conocimientos alcanzados. Con esto no quería significar que los experimentos confirmaban las hipótesis explicativas de fenómenos bajo estudio sino más bien que sus explicaciones surgían a partir de los experimentos realizados, por medio de algún tipo de inferencia inductiva. Es por esta razón que la mayoría de sus trabajos experimentales tienen una estructura similar: en una primera etapa presenta un conjunto de experimentos relacionados con alguna propiedad particular y en una segunda etapa utiliza estos experimentos para explicar mecánicamente la propiedad en cuestión. Un fin primario de la filosofía experimental defendida por este autor consistía el establecimiento de hechos sólidos que se contrapusieran a las especulaciones y tergiversaciones de las doctrinas.

Ahora bien, una pregunta que surge de inmediato es cómo intentó reconciliar su filosofía experimental con las afirmaciones de su filosofía mecánica. La principal respuesta a esta cuestión fue una distinción entre distintos tipos de conocimiento. Según Boyle existe una “escala o serie de causas” y en correspondencia con esta escala, diferentes “grados de explicación”. El grado más elevado de explicaciones se corresponde con la especificación de las verdaderas causas eficientes, en las que sólo intervienen las determinaciones mecánicas de la materia. En contraposición, el grado menos elevado de explicaciones corresponde a la determinación de las causas más fácilmente accesibles, tales como la tensión de una cuerda como causa de un sonido, el peso de un cuerpo como causa de la caída, etc. Un ejemplo típico de esta distinción entre explicaciones y causas más o menos fundamentales lo constituye el caso de lo que se conoce como la ley de Boyle-Mariotte. La ley sólo afirma una correlación de entre las magnitudes de presión, volumen y temperatura de una masa gaseosa y esta regularidad se corresponde a una mera generalización empírica en la que la elasticidad del aire se explica por la elasticidad de los corpúsculos que lo componen. Pasando al ámbito de las verdaderas causas, Boyle presentó dos modelos de corpúsculos de aire (el modelo del copo de algodón y el modelo del resorte enrollado) como intento de explicación más básico.⁶¹

Boyle fue consciente de la dificultad de alcanzar el nivel de explicación mecánica. Afirmaba que si bien “era lícito aspirar a un conocimiento de las cosas que se derive inmediatamente de primeros principios, no siempre debe requerirse o esperarse [un conocimiento tal]”. En consonancia con este precepto admitía que el conocimiento en ciencia debía apelar a “principios subordinados” o “causas intermedias”. Fue justamente dentro del ámbito de las causas subordinadas y las causas más generales de las cosas donde entrevió que una gran tarea se abría para “el ejercicio de la razón y la habilidad humana, ya que es por medio de éstas como se deducen las propiedades de las cosas a partir de cualidades más generales y familiares, así como también las causas intermedias de unas y otras.” [*Ibid.*]

En sus indagaciones químicas, este autor muestra también una marcada preferencia por el uso de experimentos más que por una investigación de las causas mecánicas.

⁶¹ *Grosso modo*, Boyle distinguía —al igual que Bacon— entre ‘historia natural’ y ‘filosofía natural’. La primera se correspondía a una generalización descriptiva de la realidad, generalización que provenía de, y era corroborada por, observaciones y experimentos. La segunda se correspondía a un nivel de teoría explicativa por medio de la cual se expresaba el ‘por qué’ de los fenómenos, es decir, se especificaba su causa más fundamental.

Antonio Clericuzio ha mostrado la autonomía de la química de Boyle en relación con su mecanicismo. Afirma que nada menos acertado que creer que Boyle subordinó su química a la filosofía mecánica, dado que no explicó los fenómenos químicos recurriendo directamente a las propiedades mecánicas de las partículas. De hecho, Boyle consideró a la química como una disciplina independiente de la mecánica y explicó dichos fenómenos en términos de corpúsculos dotados de propiedades químicas, más que mecánicas.⁶² [Cfr. Clericuzio (1990): 563].

En síntesis, la filosofía experimental preconizada y cultivada por Boyle se puede considerar a contramano de su filosofía mecánica y este hecho no hace más que desnudar una contradicción interna de esta doctrina, contradicción que fue explicitada en el apartado sobre metodología de la noción de mecanicismo puro.

Causas finales⁶³

A pesar de su adhesión a la “filosofía corpuscularista”, Boyle defendió el uso de causas finales dentro de la filosofía natural. La defensa de este tipo de causalidad refleja de alguna manera su claro compromiso con la religión cristiana y es por ello que resulta interesante analizar su conjugación que entre mecanicismo y causalidad final. Diferentes especialistas han analizado el rol de las causas finales en la filosofía natural de este autor. James Lennox [(1983)], por ejemplo, ha enfatizado que las causas finales cumplen un papel importante a la hora de explicar funcionalmente ciertos fenómenos fisiológicos. Por otra parte, Timothy Shanahan [(1994)] ha destacado que este énfasis de Lennox desconoce que la apelación a causas finales en Boyle va mucho más allá de su mera aplicación a explicaciones funcionalistas, considerando que todo fenómeno natural puede en principio ser susceptible de este tipo de explicaciones.

En este apartado analizaré las consideraciones de Boyle en torno a las explicaciones de las *monstruosidades* o fenómenos anómalos. Según este autor, estas manifestaciones naturales muestran la conveniencia de la hipótesis mecánica respecto de otras filosofías naturales. En mi contribución al debate, defenderé que este tipo de fenómenos exhibe de una manera especial la necesidad de apelar a causas finales para completar las explicaciones mecánicas. La consideración de las monstruosidades o anomalías muestra la complejidad y la sutileza de la filosofía natural de Boyle, y exhibe —al mismo tiempo— una forma de compatibilidad entre mecanicismo y voluntarismo.

Dividí este apartado en cuatro sub-apartados: en el primero presento el tema de las monstruosidades o fenómenos anómalos y muestro de qué manera estos hechos

⁶² Esta opinión no es compartida por otros autores. Marie Boas considera a Boyle no como el padre de la química moderna y un antecesor de Lavoisier, sino como un adelantado visionario de la física química. Sin embargo, esta interpretación supone que Boyle habría conseguido efectivamente reducir algunas sustancias químicas a sus componentes mecánicos, y en verdad hay poca evidencia que apruebe este punto de vista.

⁶³ El presente apartado es una reelaboración de un trabajo titulado “Explicando monstruosidades: causas finales y explicaciones mecánicas en la filosofía natural de Robert Boyle”, escrito en coautoría con Hernán Severgnini y presentado en el VI Coloquio Bariloche 2002. Agradezco a Hernán el haberme permitido incluir ese trabajo en esta tesis.

constituyen una afrenta para la noción tradicional de 'naturaleza'. En el segundo expongo la visión boyleana del mundo como 'urdimbre'. En el tercero presento el carácter incierto que Boyle reconocía a los conocimientos de su época, en tanto que en el cuarto discuto su justificación del uso de causas finales. Finalmente, en la conclusión del apartado, presento una articulación de cada uno de los temas expuestos y muestro por qué las anomalías o monstruosidades son los fenómenos que exhiben de un modo especial tanto la conveniencia de la filosofía mecánica como la necesidad de causas finales.

1. Las *monstruosidades* o fenómenos anómalos

Boyle menciona frecuentemente fenómenos anómalos cuando se trata de debatir sobre la noción heredada de naturaleza. Una de sus intenciones al utilizar estos casos es demostrar la insuficiencia y poca claridad de las explicaciones que corresponden a posiciones vulgares y peripatéticas (aristotélico - escolásticas). Estas escuelas suponían que el universo se había constituido —y se conservaba— por causa de sí mismo, sin una injerencia directa de la divinidad. Boyle consideraba inaceptable este punto de vista.

Estos “naturalistas”, para llamar así a quienes utilizaban el término ‘naturaleza’ en alguno de los sentidos que rechaza, se encontraban ante la dificultad de explicar satisfactoriamente las causas de los fenómenos anómalos. Los más graves y que por tanto requerían una explicación más urgente y convincente eran aquellos fenómenos que atentaban contra la integridad humana, como las pestes, los desastres naturales, las malformaciones fetales, las enfermedades, etc. El argumento era simple y directo: si la naturaleza conducía a sus seres a sus propios fines y a su desarrollo y perfección, ¿qué la llevaba a permitir, o incluso a producir, anomalías tales? La noción vulgar de “naturaleza” no respondía satisfactoriamente a este tipo de interrogantes.

Boyle muestra que una apelación a principios puramente mecánicos es suficiente para construir explicaciones causales de estos hechos. El uso de la hipótesis corpuscularista permitía explicar no sólo las enfermedades, sino también los distintos estadios de las enfermedades⁶⁴, a la vez que libraba al filósofo natural de tener que enfrentar casos “inexplicables” para la hipótesis científica.

[A]unque generalmente se considera a una enfermedad como un hecho fuera del curso de la naturaleza o, según otros, como un estado contrario a la naturaleza, estos casos deben entenderse sólo en referencia a lo que habitualmente ocurre en el cuerpo humano; pues los vientos frescos, las lluvias excesivas, el aire caluroso y otras causas usuales de enfermedades son agentes naturales y actúan de acuerdo a las leyes generales del universo, tanto cuando producen enfermedades como cuando condensan las nubes que producen lluvias o nieve, o cuando empujan a los navíos a los puertos, o hacen que los ríos fluyan, o que madure y fructifique el maíz; y producen tales cosas, tanto si son perjudiciales como beneficiosos a los hombres [Boyle (1996): 108].

Todo fenómeno, en cuanto a las causas eficientes que lo producen, puede explicarse apelando a los principios mecánicos tal y como Boyle los expone en *The Origin* [1666], entre otros trabajos. En particular, al referirse a ciertos fenómenos anómalos

⁶⁴ Cfr. v.gr. *A Free Inquiry*: 139.

o “preternaturales”, en *A Free Inquiry* [1685], Boyle recalca que tales fenómenos bien pueden explicarse a partir de las leyes generales del universo. Las anomalías no suponían una suspensión de estas leyes generales o la intervención de leyes especiales o “municipales”. Esta distinción entre tipos de leyes resultaba poco clara y difícil de sostener, al tiempo que tergiversaba una visión más simple de las aparentes anomalías.

¿Qué hace que un fenómeno o hecho de la naturaleza aparezca como anómalo? Esto quedará explicado a partir de la noción de “urdimbre del mundo”⁶⁵ que ya podemos ver en *A Free Inquiry*.

2. La noción de ‘urdimbre del mundo’

En esta última obra, como en muchas otras, Boyle deja establecido que la comprensión de la totalidad del mundo no sólo implica el conocimiento de la disposición y movimiento de sus partes, sino que esta totalidad se rige como una máquina constituida de manera tal que si pretendiéramos alcanzar una explicación completa y certera de una de sus partes, sería necesaria la comprensión del mundo en su conjunto. Boyle utiliza con frecuencia la metáfora de que el mundo es una ‘urdimbre’, es decir, una red donde cada cuerpo con sus propiedades mecánicas interactúa con los demás de una manera causal-eficiente.⁶⁶

Dentro de un mundo así constituido, la labor de un filósofo natural no puede estar restringida sólo a dominios parciales de la naturaleza. La comprensión de un fenómeno particular requiere de la comprensión de una vasta red de fenómenos con los que interactúa en el mundo. Si este filósofo natural dispusiera de la totalidad de las causas eficientes mecánicas que intervienen en la generación de un fenómeno, vería que cualquier *monstruosidad* o anomalía cae dentro del curso normal de la naturaleza.

¿Qué razones llevan a los hombres a considerarlas como *monstruosidades*? Boyle señala dos razones para este hecho: una es considerar al caso anómalo como aislado y sin conexión con el resto de los otros fenómenos; el hecho de que un fenómeno anómalo no se pueda explicar, llevó a asociarlo con cierta ruptura de leyes generales o, como se afirmaba, con la emergencia de “leyes municipales” que suspendían las leyes generales. Al respecto afirma:

No me refier[o] aquí a irregularidades que a veces ocurren sino a las que parecen tales. Dado que considero muy plausible que un artífice con una enorme comprensión y con una aguda visión, como lo es el creador del mundo, pueda, en este gran autómatas, haber ordenado las cosas de manera tal que algunas de ellas se nos muestren como ocurriendo abrupta e inesperadamente, [o] a distancias muy grandes de tiempo o lugar, [o] tales que nos parezcan que son irregulares, cuando en realidad tienen, tanto en el ordenamiento [divino] como en la conexión con sus causas genuinas, una relación que, si la comprendiéramos, nos evitaría atribuírselas a la casualidad o a las aberraciones de la naturaleza. [Boyle (1996):102].

⁶⁵ Con el término ‘urdimbre del mundo’ traduzco la expresión ‘*fabric of the world*’.

⁶⁶ En *The Origin*: 206, podemos leer: “En efecto, no hemos de considerar a cada cuerpo aisladamente tal y como es en sí mismo, como una porción distinta y completa de materia, sino que hemos de considerarlo en cuanto parte del universo, situado por tanto entre un gran número y variedad de otros cuerpos sobre los que puede actuar y que pueden actuar sobre él de diferentes maneras.”

Otra razón que inducía a considerar ciertos fenómenos como anómalos era la creencia de que el hombre era el principal fin de la naturaleza. Los hombres tienden a considerar que los fenómenos que afectaban su integridad eran inhumanos o anti-naturales. Esta incorrecta interpretación se subsanaba cuando los hombres comprenden que ellos son parte de esta “urdimbre” del mundo natural y no el fin de ésta.

[Dado] el bienestar del hombre, o de cualquier otro tipo de criaturas, no es el único –y probablemente ni siquiera, el principal– fin de Dios al crear el mundo, no se debe considerar sorprendente ni de reprochable que él no haya previsto la seguridad y conveniencia de las cosas particulares mejor que lo que previó el bienestar de los seres de un orden mayor, los cuales se regirán por fines más altos, y de acuerdo a leyes más generales y usuales, [leyes] establecidas por él para las cosas corporales. Así aunque muchas cosas parezcan anomalías e incongruencias, a partir de las cuales algunos pueden objetar la administración de las cosas y negar la acción de la providencia, éstas no sólo se comportan según [la providencia], sino que contribuyen a alcanzar los designios de ella. [Boyle (1996):76].

Se puede decir que para Boyle una anomalía era o bien aparente o bien real. Era aparente en el caso de que, produciéndose de acuerdo a las leyes mecánicas generales, se presenta como anómalo debido a que nuestras hipótesis explicativas no son lo suficientemente completas como para captarlo en su completa dimensión y así se lo considera más o menos aisladamente. Cfr. [Boyle (1996): 71 y ss.]. Y sería realmente anómalo en el caso que fuese efecto de una acción directa y divina que implica una desobediencia a las leyes mecánicas. Estos casos anómalos reales obedecen además a una intención también divina, que en la mayoría de los casos nos es oculta –al menos, claro está, que nos sea revelada. [Boyle (1996):113-114]. Ambos tipos de anomalías tienen un *sentido* o finalidad que depende de la Providencia Divina. Y como tal, puede sernos accesible al conocimiento, aunque más no sea de manera parcial e imperfecta, gracias a la interpretación de la naturaleza en conjunción con la exégesis bíblica.

En resumen, la explicación de anomalías aparentes debe (a) ser expresada a partir de las leyes generales del universo; (b) considerar al universo como una urdimbre de interrelaciones; y (c) reconocer que la Providencia Divina actúa de hecho en el mundo. Estos tres requisitos implican considerar que el conocimiento de los fenómenos naturales es limitado.

3. El carácter incierto del conocimiento natural

Boyle no admitía que sus explicaciones de los fenómenos naturales tuvieran un carácter cierto y definitivo.⁶⁷ Si bien toda explicación de un fenómeno particular puede ser construida en términos de principios mecánicos, nada garantizaba que éstas pudieran llegar a lograrse en algún momento. Más aún, es consciente que la mayor parte del conocimiento del mundo natural resta aún por producirse y que ello se conseguirá a partir de historias naturales completas que permitan inferir leyes generales. Prueba de esta posición es la diversidad de temas en los que se aventura, junto con la recolección de historias naturales surgidas del testimonio de testigos

⁶⁷ Cfr. [Boyle (1996): 182 y ss]. Él utiliza el término ‘*diffident*’ para referir a su actitud respecto del carácter no definitivo de las explicaciones naturales.

creíbles y cualificados. Todo este trabajo es evidencia de que nuestro autor intenta completar con fenómenos muy diversos su visión del mundo como urdimbre.

Una comprensión coherente y consistente de los fenómenos naturales requiere de la consideración de una vastedad de otros fenómenos que interactúan con el fenómeno en cuestión. Si el vasto tejido del universo está siendo descubierto, y en su mayor parte permanece aún ignoto, entonces no es posible tener *ahora* una explicación que se precie de definitiva. Toda hipótesis explicativa es provisoria, pues el conocimiento actual del hombre lo es.⁶⁸

Así, aunque un fenómeno aparentemente anómalo o monstruoso pueda parecernos tal por la insuficiencia de nuestro conocimiento, éste tiene sin duda una razón o explicación mecánica a la cual todavía no accedimos a causa de nuestros límites, aunque en principio su explicación sea accesible al intelecto humano.⁶⁹ Pero además de la limitación en el conocimiento de las causas mecánicas, el hombre experimenta una limitación frente a las causas finales: el hombre es incapaz de conocer con total certeza y en todo su alcance los designios divinos, sus intenciones y fines, y este desconocimiento es la razón por la que vemos “aparentes” anomalías, i.e., anomalías que no son tales.

Teniendo Dios una comprensión infinitamente superior a la del hombre en alcance, claridad y otras excelencias, se puede suponer racionalmente que un autómatas tan grande y admirable como es el mundo ha sido construido [por Él], del mismo modo en que lo fueron los dispositivos subordinados que están incluidos en él, para distintos fines y propósitos, principalmente los relativos a los corporales y [a los que rige] a sus criaturas racionales; algunos de estos fines ha permitido que sean descubribles por nuestra pálida razón, pero otros probablemente no sean penetrados por ésta, sino que queden guardados en el abismo profundo de su insondable sabiduría. [Boyle (1996):160].

En correspondencia con el caso de las causas eficientes, los fines o designios divinos tampoco son absolutamente cognoscibles, si no sólo de forma parcial y con cierto grado de plausibilidad. Boyle creía que la parcialidad debe completarse a fin de establecer la correspondiente “urdimbre” de conocimiento, es decir una red de afirmaciones acerca del mundo que de alguna manera reproducía la “urdimbre” del mundo. Ahora bien, a pesar de estos límites en el conocimiento de los fines, intenciones o designios divinos, queda claro que él considera que estos fines existen y operan en la naturaleza, aparte de que son fundamentales para una comprensión cabal de la realidad.

4. La necesidad de las *causas finales* y su implicancia religiosa

En *A Disquisition about the Final Causes* (1688) Boyle afirma que la consideración de causas finales en ciencia permite reconocer ciertas funciones en el estudio de los seres principalmente orgánicos.⁷⁰ Luego de rechazar las posiciones de los

⁶⁸ Los límites también se plantean en el ámbito de la intervención: aún no se disponen de dispositivos lo suficientemente precisos para producir fenómenos absolutamente depurados.

⁶⁹ De más está aclarar que se trata aquí de “anomalías aparentes” y no “reales” (o milagros) dado que estas últimas no responden a leyes universales sino a la intervención divina en el mundo como suspendiéndolas, en función de ciertos fines que Dios tiene al provocarlas.

⁷⁰ En su *Disquisition about the Final Causes*, Boyle hace referencia en extenso a este tipo de fenómenos. Se sentía particularmente admirado por las investigaciones realizadas por Scheiner sobre

epicureístas y los cartesianos respecto de las causas finales (los primeros, porque las niegan, y los otros, porque las consideran inalcanzables e inútiles)⁷¹ este autor se esfuerza en mostrar la necesidad de este tipo de causas en la comprensión de los diferentes dominios de la naturaleza. La idea ya aparece en *A Free Inquiry* (1682), pero es desarrollada principalmente al tratar el rol de la providencia divina, noción que actuaría como reemplazo de ciertas prerrogativas que usualmente se habían atribuido a la “naturaleza” tal y como era comprendida vulgarmente.

La idea de *causa final* está ya implícita en la imagen del mundo como urdimbre y como algo que presenta un cierto *diseño*. El mundo –al estar diseñado por su Autor– responde a un plan.⁷² De más está decir que toda hipótesis creacionista (y éste es el argumento en contra Descartes) lleva implícita la idea de un plan o diseño, y por lo tanto, el cumplimiento de ciertos fines. Es posible cierta utilidad de algunas consideraciones teleológicas en ciertas áreas de la filosofía natural.⁷³ El surgimiento o generación de los fenómenos de este mundo así dispuesto y diseñado bien puede explicarse “mecánicamente”⁷⁴, pero no su sentido. Las causas finales dan cuenta del sentido de la ocurrencia de las cosas en el mundo, no sólo para los seres vivos, como lo señala en *Disquisitio*, sino también y principalmente para aquellas anomalías que afectan a la integridad de los seres humanos, como las que se mencionan en *A Free Inquiry*.

Frente a la alternativa de atribuir estas anomalías a la ‘casualidad’ ciega, existe otra más plausible que es la de atribuírselas a la sabiduría y providencia divina que estructuran de manera exquisita y simétrica los cuerpos mundanos. En ciertos pasajes de su obra el autor no sólo afirma que esta urdimbre del mundo está “estructurada” sino también “administrada” por Dios para el propio bien del mundo. Véase en esta última afirmación la inherente causalidad final presente en la Providencia divina.⁷⁵ Y no se trata de una conservación o preservación del mundo en función de un bien que podamos entender sin más, sino de una finalidad, del cumplimiento de un plan cuyas características se mantienen en gran parte veladas al conocimiento humano.

la anatomía del ojo y sobre las funciones de sus partes en el mecanismo de la visión, “el más valorable de los sentidos”. Al respecto Boyle afirmaba que “...es muy difícil e impropio creer que un Artífice tan inteligente o bien pueda haber hecho las cosas por casualidad o bien que una pieza de artesanía tan curiosa [como el ojo] pudo haberla creado sin conocer *cuál es su utilidad*, [antes bien] debió haberla diseñado *para el uso al cual está mejor adaptada*” [Boyle (2000): 89, *itálica añadidas*].

⁷¹ Cfr. [Boyle (2000): 82 y ss].

⁷² La palabra que utiliza Boyle es ‘*design*’ y una traducción alternativa a ‘*diseño*’ podría ser ‘*designio*’, aunque esta última tendría un sentido más fatalista y no sería del todo acertada para describir el cristianismo al que adscribió Boyle.

⁷³ La interpretación de Lennox es que Boyle apela a ellas para mostrar su utilidad a la hora de generar explicaciones de fenómenos.

⁷⁴ Salvo en el caso de milagros reales, como lo hemos aclarado en su momento. Cabe aclarar que Boyle apela a estos casos de un modo muy restringido: “...en algunas ocasiones Dios, de un modo peculiar aunque oculto, se interpone entre los fenómenos ordinarios [de la naturaleza]; y aunque esto ocurra rara vez, al menos en forma que podamos discernir con certeza, puesto que no podemos apresuradamente recurrir a una tal extraordinaria providencia –y mucho menos al extraño cuidado y habilidad de este se [cuestionado] que se llama naturaleza– en este o aquel caso particular, aunque quizá inesperado, si probablemente no puede darse cuenta de él mediante leyes mecánicas y mediante el curso ordinario de las cosas.” *A Free Inquiry*, 101.

⁷⁵ Cfr. *A Free Inquiry*, 69.

Es aparentemente paradójico aceptar que un mecanicista entienda que es necesaria la inclusión de consideraciones teleológicas en la filosofía natural de este tipo. Pero podría argumentarse que si bien las explicaciones de los fenómenos pueden ser mecánicas, el sentido último de éstos no lo es. Podemos explicar mecánicamente la erupción de un volcán, un terremoto, una peste o la constitución del ojo humano, pero tal explicación adolecerá de integridad si no se incluyen consideraciones teleológicas. Aquí Boyle está sosteniendo que si el mundo es una urdimbre diseñada, las causas finales son inherentes al mundo mismo desde su creación. La idea de diseño pide la presencia de estas causas en la consideración de los fenómenos que lo conforman. La providencia divina se manifiesta tanto en los detalles del diseño de los animales como en aquellos fenómenos o procesos naturales no gobernados por las leyes del movimiento, es decir, los milagros.⁷⁶

Ahora bien, al igual que las hipótesis explicativas mecánicas resultan no del todo ciertas, también las hipótesis sobre la finalidad de los fenómenos precarias, aunque por una razón. El escepticismo de las explicaciones teleológicas radica en el insuficiente conocimiento que el hombre posee de los designios del Autor del mundo. No obstante, del mismo modo en que es posible aumentar la confiabilidad de las explicaciones mecánicas, también es posible vislumbrar con claridad creciente la finalidad de este tejido del mundo.

Se ha argumentado que en Boyle tenemos a un hombre ante dos libros: el del mundo y el de las Sagradas Escrituras [Cfr. Sargent (1995)]. Cada libro es una urdimbre, donde la comprensión de una parte requiere de la comprensión de las interrelaciones con las otras. De modo que cualquier hipótesis de momento resulta parcial y provisoria hasta tanto se vayan estableciendo relaciones cada vez más abarcativas. Así, las hipótesis explicativas naturales más plausibles son las que, luego de formuladas siguiendo los principios mecánicos, permanecen plausibles a medida que la sustentan un número cada vez mayor de fenómenos vinculados entre sí. De la misma manera, algún conocimiento de los fines del mundo y del hombre, a partir de la interpretación de los pasajes de la Sagrada Escritura, permanece plausible siempre y cuando otros pasajes de este Libro permitan seguir sosteniendo dicha interpretación. Más aún, este autor no sólo está ante dos libros donde cada uno es en sí mismo un tejido coherente, sino que además entiende que estos libros son coherentes entre sí.

Por ello, la apelación a causas finales, que aparecen de un modo más explícito en las Sagradas Escrituras, no puede ser inconsistente con las explicaciones mecánicas que los filósofos naturalistas construyen en sus ciencias. Si surgiera alguna inconsistencia, esto se daría porque nuestras hipótesis han resultado erróneas o falsas, ya sea las que intentan explicar los fenómenos, o las que interpretan a la Biblia. Una u otra, o ambas, están erradas, y así, tanto la mecánica como la hermenéutica bíblica son ciencias falibles y provisorias hasta tanto se disponga del conocimiento de la

⁷⁶ Cfr. *A Free Inquiry*, 69. También el siguiente texto de Boyle es claro al respecto: "...pienso que es parte de mi deber, [...] decir algo breve [...] a fin de mostrar que al menos en la estructura y naturaleza de los animales, hay cosas que piden un principio más alto y noble que la casualidad ciega." [*Disquisition...*: 130].

totalidad de la urdimbre de cada libro.

5. Conclusiones

La estrategia de haber seleccionado los casos de fenómenos *monstruosos* o anómalos me permite establecer un vínculo entre distintas problemáticas, ontológicas y gnoseológicas, que se hallan en el pensamiento mecanicista de Boyle. Se sostuvo que las anomalías aparentes eran explicables mecánicamente debido a que eran parte de un mundo entendido como urdimbre. Su aparente irregularidad quedaba salvada argumentando que esta urdimbre del mundo era tan vasta que el conocimiento y las explicaciones humanas no lograban por el momento abarcarlo. Así, el carácter 'aparentemente' anómalo de estos fenómenos trajo al debate la precariedad del conocimiento.

Boyle podría haberse detenido en este punto y haber planteado simplemente que el conocimiento de la urdimbre de este mundo mecánico es de momento precario y parcializado, y que nos lleva a ver anomalías que no son tales. Pero da un paso más y reconoce la existencia de un requerimiento que considera humano por derecho: ciertas anomalías, principalmente aquellas anomalías aparentes que afectan a la integridad humana, nos urgen a darle sentido, a encontrarles un *para qué*. En respuesta a este reclamo Boyle ve que la necesidad de comprender al mundo con coherencia exige la inclusión de causas finales, y éstas se ligan estrictamente con la idea de la urdimbre del mundo. Según Boyle, esta urdimbre diseñada, creada y administrada por Dios, donde cada fenómeno, cada ocurrencia, tiene, además de una explicación por causas eficientes, una finalidad.

El intento de analizar al pensamiento de este autor debe tomar en consideración tanto sus intenciones como filósofo natural como su carácter religioso. En su búsqueda de confirmación de la hipótesis mecánica Boyle encuentra que ésta es la más aceptable en cuanto respeta y permite sostener una visión creacionista del mundo y una visión voluntarista de la acción de Dios sobre él. En las conclusiones al capítulo ofrezco un argumento por el cual se establece que el uso de causas finales no es en principio incompatible con la noción de mecanicismo puro.

Consideraciones finales al capítulo

De mi reconstrucción de la filosofía natural de Boyle se sigue que, a pesar de la encendida defensa que hizo de la filosofía mecánica, su principal desviación de mi noción de mecanicismo puro surge de su no menos vehemente defensa de la filosofía experimental. A lo largo del capítulo he intentado mostrar que este autor consideraba las explicaciones de los peripatéticos y espagiritas como erróneas, inconsistentes, sin sustento y obsoletas. Y que en oposición a éstas ensalzaba las explicaciones mecánicas como verdaderas, razonables y racionales, evidentes en sí mismas e innovadoras, explicaciones en las que sólo se hacía uso de propiedades mecánicas, directamente derivables de la noción de cuerpo y confirmadas en evidencia experimental. Pero también ha quedado establecido que Boyle admitió cierta preeminencia de la filosofía experimental y ello en detrimento de la búsqueda de hipótesis mecánicas que explicaran los mecanismos básicos y causales de los fenómenos naturales. Ejemplo de estos fenómenos eran los estados de cosas llevados a cabo por propiedades tales como la de la gravedad, del cual suponía que una

explicación en términos mecánicos era sino inalcanzable, si muy difícil de lograr. Lo mismo pensaba de otras propiedades conocidas a partir de experiencias particulares, tales como la elasticidad de los cuerpos o las propiedades medicinales de ciertos vegetales. Boyle mismo adscribió propiedades intrínsecamente químicas a ciertas compuestos o sustancias y si bien consideraba que todas ellas eran en principio reducibles a principios estrictamente mecánicos, no es menos cierto que nunca procuró tal reducción.

Boyle consideraba a la filosofía mecánica como una hipótesis que lejos de ser evidente en sí misma, requería de confirmación empírica. Y en este punto se contrapone a Descartes, quien consideraba que los principios básicos de su filosofía mecánica era derivables *a priori* de verdades evidentes e indubitables. Considero que es justamente este carácter conjetural de su filosofía mecánico-corpúscular lo que constituye la principal desviación de la noción de mecanicismo puro.

Por lo que se refiere a la defensa de causas finales en filosofía natural, es necesario reconocer que no existe en principio incompatibilidad entre dichas causas y la noción de mecanicismo puro. En tanto que defensor de la filosofía corpúscular, Boyle reconocía la preeminencia a las explicaciones en términos de causas eficientes o secundarias. Simultáneamente, Boyle abogó por el uso de causas finales, causas que operaban en el mismo nivel de realidad pero que resultaban del todo independientes de la acción de las causas eficientes.

Para ilustrar este último punto imaginemos una mesa de billar en donde la interacción de tres bolas —con determinadas masas y posiciones—son regidas por ciertas leyes impuestas por Dios. Una vez dado el impulso inicial a una de estas bolas —y suponiendo que Dios conserva la cantidad de movimiento total del sistema—las distintas configuraciones de bolas se siguen inexorablemente de la conjunción entre leyes más las condiciones iniciales. Supongamos además que Dios haya querido —por ejemplo—que cada cierto intervalo de tiempo todas las bolas se encuentren a una distancia no mayor que un cuarto de la longitud de la mesa sobre la que se mueven. Claramente Dios pudo haber determinado las leyes del movimiento de manera tal que produzcan inexorablemente esta situación, y su voluntad para nada interfiere en el desarrollo puramente mecánico del sistema de bolas. El designio de Dios es que las bolas guarden ciertas distancias mínimas cada ciertos períodos de tiempo, pero los medios de los que se sirve para lograr dicha objetivo resultan puramente mecánicos. De este modo se evidencia que la aceptación de causas finales no constituye obstáculo para una noción de mecanicismo puro en la que la única causalidad relevante es la causalidad eficiente.

Capítulo VI: LA FILOSOFÍA MECÁNICA DE LOCKE

Introducción

Varios aspectos de la filosofía de John Locke relacionados con mi noción de mecanicismo puro aparecen en su *Ensayo sobre el entendimiento humano*, su obra más importante. Es necesario señalar desde un comienzo que Locke no es un filósofo natural al modo en que lo fueron “el incomparable señor Newton”⁷⁷ o “el gran genio Huygens”. Si bien realizó investigaciones en algunas disciplinas naturales tales como la medicina, Locke se consideraba a sí mismo como un simple obrero abocado a la tarea de “desbrozar un poco el terreno y de limpiar el escombro que estorba la marcha del saber”. El objetivo primario de su *Ensayo* es examinar “las aptitudes humanas” y así determinar qué objetos están bajo el alcance del entendimiento y cuáles fuera de él. Por esta razón su trabajo es fundamentalmente epistemológico y de esta forma es entendible el hecho de que Locke realice sólo “ocasionales y pequeñas excursiones” por el campo de la filosofía natural. Locke considera que estas excursiones son necesarias para la investigación que se propone, aunque de ninguna manera conforman un objetivo en sí mismo.

El caso del mecanicismo de Locke es importante en tanto que se presentan dos argumentos completamente originales en torno a esta temática. Uno refuta la identificación cartesiana entre materia y extensión y de esta forma deja sin sustento metafísico al mecanicismo cartesiano. El otro rechaza la posibilidad de alcanzar una ‘ciencia perfecta de los cuerpos naturales’, es decir, un conocimiento de cuestiones de hecho que posea una certeza igual a la certeza matemática. A pesar de la negación de un conocimiento tal, la noción misma de una ciencia perfecta de la naturaleza tiene muchos puntos en común con mi ideal de mecanicismo puro y fue en cierta manera una fuente de inspiración de dicha noción.

En este capítulo alteraré la estrategia general de los anteriores capítulos y presentaré en primer lugar la defensa del corpuscularismo por parte de Locke y la distinción entre cualidades primarias y secundarias. Estos elementos me permiten introducir la noción de ‘ciencia perfecta de los cuerpos naturales’ y señalar los argumentos por los cuales Locke rechaza dicho conocimiento. Más allá de este rechazo, me permitiré presentar en este mismo capítulo una reformulación de dicho ideal tendiente a mostrar que la filosofía de Locke está menos alejada de esta noción particular de lo que su autor afirma. Completaré el capítulo con la exposición de otros elementos de la filosofía de Locke relacionadas con mi noción de mecanicismo puro.

Corpuscularismo, cualidades primarias y secundarias, y acciones mecánicas

Determinar si Locke defendió una ontología corpuscular ha sido parte de una discusión mayor tendiente a establecer si este autor aceptó el uso de hipótesis en ciencia. El problema no es trivial ya que habiendo sido defensor de una de las versiones más radicales de empirismo, adscribirle la invocación de corpúsculos que son en principio imperceptibles aparece cuando menos como una contradicción. A pesar de esta aparente incoherencia, James Farr [(1987)] ha probado que Locke fue

⁷⁷ Todas las citas del presente párrafo pertenecen a la Epístola al lector del *Ensayo*.

un hipotetista que no sólo invocó un gran número de hipótesis para distintos campos del conocimiento (por ejemplo en física, astronomía, religión natural, política, etc.) sino que además presentó argumentos que justificaban su uso en ciencia.

El corpuscularismo puede considerarse entonces como un caso de hipótesis defendida por Locke. Según Locke, “la hipótesis corpuscular” es aquella que “más se acerca a una explicación inteligible de las cualidades de los cuerpos” y “difícilmente la debilidad del entendimiento humano podrá substituir esa explicación por otra que nos ofrezca un comprensión más completa y más clara de la conexión necesaria y de la coexistencia de las potencias que podemos observar unidas en varias clases de cuerpos.” [*Ensayo*, IV, 3, 16].

Locke considera que los corpúsculos o átomos están provistos de un conjunto muy pequeño de propiedades a las cuales llama ‘cualidades primarias’. Estas cualidades son “enteramente inseparables del cuerpo, cualquiera que sea el estado en que [éste] se encuentre, y tales que las conserva constantemente en todas las alteraciones y cambios que dicho cuerpo pueda sufrir a causa de la mayor fuerza que pueda ejercerse sobre él.” [*Ensayo* II, 8, 9]. Entre las cualidades primarias incluye a la solidez, la extensión, la figura, y el movimiento o reposo⁷⁸. Estas cualidades son ‘reales’ en el sentido que existen en los cuerpos más allá de que puedan ser percibidas por nuestros sentidos. Así por ejemplo, un trozo de madera⁷⁹ es un cuerpo con cierta solidez, extensión y con determinada forma y determinado estado de movimiento o reposo. Si se lo divide en dos partes, cada una de las partes continúa teniendo el mismo conjunto de propiedades aunque con distintos valores: igual solidez, menor extensión o tamaño, diferente forma, mayor o menor estado de movimiento. Si continuamos dividiendo una de estas partes, obtendremos partes más pequeñas que en todos los casos conservarán las propiedades de solidez, extensión, forma y movimiento o reposo. Aún en el caso en que dichas partes se vuelvan imperceptibles, Locke considera que existen buenas razones para pensar que dichas partes conservarán el mismo grupo de propiedades que las partes observables. Y esto es justamente lo que Locke quiere significar con la definición de las cualidades primarias. Locke lo afirma en el siguiente pasaje:

Esas cualidades son tales que los sentidos constantemente las encuentran en cada partícula de materia con bulto suficiente para ser percibida, y tales que la mente las considera como inseparables de cada partícula de materia, aun cuando sean demasiado pequeñas para que nuestros sentidos puedan percibir las individualmente. [*Ensayo* II, 8, 9]

Locke dedica un capítulo entero a tratar la propiedad de solidez. Ésta se corresponde con una idea simple adquirida por el sentido del tacto y surge de la “resistencia que percibimos en un cuerpo a que otro cuerpo ocupe el lugar que posee [el primero], hasta que cede”. Esta misma idea en ocasiones se denomina ‘impenetrabilidad’ y es una idea tan íntimamente unida a lo corpóreo, que forma parte esencial de la idea de cuerpo. Más aún, a pesar de que nuestros sentidos nos informan de esta idea en los cuerpos de tamaño suficiente como para producir una sensación en nosotros, nuestra

⁷⁸ Locke no es coherente respecto de qué cualidades considera primarias a lo largo del *Ensayo*. En algunas listas incluye al número y al tamaño, y en otras excluye a la extensión.

⁷⁹ Locke presenta un experimento imaginario similar con un grano de trigo. Cfr. [*Ensayo* II, 8, 9]

mente va más allá y se la adscribe a las partículas más diminutas de materia que puedan existir.

En cuanto a las cualidades secundarias, Locke las define como “potencias [o capacidades] para producir diversas sensaciones [...] por medio de sus cualidades primarias” [*Ensayo* II, 8, 10]. Ejemplos de cualidades secundarias son los colores, los sonidos, los sabores, etc. Estas cualidades no son propiedades existentes en los cuerpos de la misma manera en que lo son las cualidades primarias. Las cualidades secundarias tienen su origen en las diferentes configuraciones de cualidades primarias de los corpúsculos, los cuales producen o causan ciertos efectos particulares en nuestros sentidos. Por ejemplo, la sensación de blanco sería el resultado de una agrupación de corpúsculos con cierta forma, tamaño y movimiento, los cuales reflejan la luz de una determinada manera y producen la correspondiente sensación de blanco. Así, la propiedad de blanco no existe en el cuerpo de forma análoga a como existen las cualidades primarias, sino el blanco que es sólo la sensación que existe en la mente de quien percibe.

Locke presenta un tercer tipo de cualidades a las que denomina ‘potencias’⁸⁰ o ‘cualidades terciarias’. Estas cualidades son capacidades o disposiciones de ciertos configuraciones de corpúsculos para producir cambios en las cualidades primarias de otros cuerpos. El ejemplo más representativo de este tipo de cualidades es el poder del fuego para cambiar el color y la consistencia de la cera. El fuego —según la hipótesis corpuscularista— consiste en un movimiento violento de partículas diminutas. En contacto con un trozo de cera, estas partículas producen alteraciones en las configuraciones de los corpúsculos que la forman y son la causa del cambio en su color y consistencia. Como en el caso de cualidades secundarias, las potencias o cualidades terciarias no son ‘reales’ en los cuerpos en el sentido en que lo son las cualidades primarias, sino que las mismas no son más que disposiciones o capacidades de los corpúsculos de cada elemento que interactúan.

Estando apartado del objetivo de presentar una filosofía natural, Locke no argumentó por una ciencia de la mecánica en particular. Coherente con el objetivo de “desbrozar el terreno sobre el que avanza el conocimiento”, sólo presentó una serie de consideraciones respecto de las acciones mecánicas. De esta forma señala que “El cuerpo, hasta donde podemos concebirlo, no es capaz sino de golpear y afectar un cuerpo; y el movimiento no puede producir sino movimiento si nos atenemos a cuanto nuestras ideas pueden decirnos sobre el particular;” [*Ensayo* IV, 3, 6]. En sintonía con estas palabras, después de presentar la distinción entre cualidades primarias y secundarias Locke sostiene que “la única manera en que podemos concebir que los operen, es por impulso”. Estos párrafos mostrarían que, a pesar de la amistad personal que poseía con Newton, y que a pesar de algunos pasajes controvertidos en donde habla de la naturaleza de la gravedad, Locke habría defendido que las acciones entre cuerpos se producen sólo por el contacto entre ellos.

De esta forma, la afirmación de corpuscularismo como teoría de la materia, la distinción entre cualidades primarias y secundarias y la defensa de acciones por contacto, como único forma de acción entre los cuerpos ubican —prima facie— a

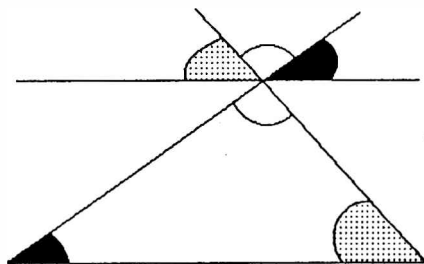
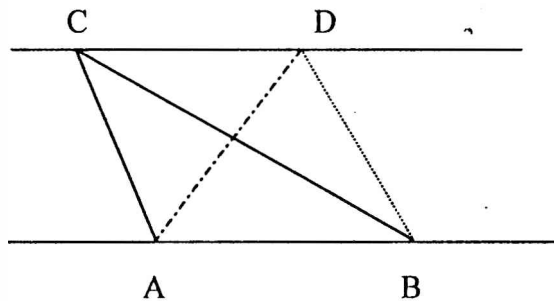
⁸⁰ El término en inglés es ‘powers’ y también podría traducirse como ‘capacidades’.

Locke en perfecta sintonía con mi noción de mecanicismo puro. Pero, y a pesar de existir otros elementos que confirman esta presunción, en el presente capítulo pretendo mostrar que el de Locke no constituye un caso de mecanicismo puro.

La ‘ciencia perfecta de los cuerpos naturales’

En el Libro IV del *Ensayo* Locke aborda el tema del conocimiento en general y define a éste como la percepción del acuerdo (o conexión) o el desacuerdo (o repugnancia) entre cualesquiera dos ideas de nuestra mente. En su análisis de los grados del conocimiento, Locke distingue una gradación que comienza con el conocimiento intuitivo, continúa con el conocimiento demostrativo y alcanza su grado más bajo en el conocimiento de la existencia de los seres particulares o conocimiento sensible. El conocimiento intuitivo surge cuando la mente “percibe el acuerdo o desacuerdo de dos ideas de forma inmediata y *sin la intervención de alguna otra idea.*” [*Ensayo* IV, 2, 1; *itálicas mías*] El conocimiento demostrativo surge cuando la mente —incapaz de percibir de forma inmediata el acuerdo o desacuerdo entre dos ideas— requiere la ayuda de ideas intermedias para demostrar una determinada conexión entre las ideas. Este tipo de conocimiento es como una cadena cuyos eslabones representan ideas unidas por conocimiento intuitivo, siendo la única diferencia entre el conocimiento intuitivo y el demostrativo en que el segundo es menos evidente y claro que el primero. Los ejemplos más simples de conocimiento intuitivo son los acuerdos de identidad o diversidad tales como ‘el cuadrado es cuadrado’ o ‘el amarillo no es azul’, respectivamente, en tanto que los teoremas matemáticos constituyen ejemplos de conocimiento demostrativo.

Los siguientes dos ejemplos muestran casos de conocimiento intuitivo y demostrativo. En la siguiente figura, que el triángulo ABC no es el triángulo ABD constituye una instancia de conocimiento intuitivo, en tanto que el hecho de que las superficies de ambos triángulos sean iguales es un caso de conocimiento demostrativo. [Cfr. *Ensayo* IV, 3, 3]



La que aparece a continuación constituye una demostración geométrica del hecho de que la suma de los ángulos de cualquier triángulo es igual a dos rectos y es —por supuesto— un caso de conocimiento demostrativo.

Para Locke, conocimiento en sentido estricto (o *scientia*) sólo se presenta en los casos

de conocimiento intuitivo o demostrativo y cualquier otro tipo de conocimiento no es más que opinión o fe. Pero a pesar de la contraposición, Locke presenta lo que él denomina 'ciencia perfecta de los cuerpos naturales'⁸¹. Imagina a esta supuesta ciencia como un tipo de conocimiento sobre objetos naturales pero alcanzando una certeza equivalente a la certeza matemática.

Según Locke, dos condiciones deberían cumplirse para lograr esta ciencia ideal: primero conocer las cualidades primarias de los corpúsculos que intervienen en el hecho y segundo conocer cómo esas causas corporales producen las ideas correspondientes a las cualidades secundarias en el observador. Afirma Locke:

[Los] corpúsculos insensibles son las partes activas de la materia y los grandes instrumentos de la naturaleza de donde dependen no sólo todas sus cualidades secundarias, sino también la mayoría de sus operaciones naturales [...]. No pongo en duda que, si pudiésemos descubrir la forma, el tamaño, la contextura y el movimiento de las partículas constitutivas de dos cuerpos cualesquiera, conoceríamos, sin necesidad de pruebas, varias operaciones que podrían producir el uno respecto del otro, del mismo modo que ahora sabemos las propiedades del cuadrado o de un triángulo [*Ensayo IV, 3, 25*].

En cuanto a la primera condición, Locke afirma que del mismo modo que la gran distancia en la que se encuentran ciertos cuerpos es la causa de nuestra ignorancia de ellos, la pequeñez de los corpúsculos es la causa de nuestro desconocimiento de sus cualidades primarias. Este conocimiento de las cualidades primarias de los corpúsculos es una condición *sine qua non* para alcanzar un conocimiento necesario de la naturaleza, dado que estas determinaciones son las únicas objetivas y reales en estas partículas. Más aún, son estas cualidades las que originan las potencias (*powers*) de los cuerpos, es decir, las capacidades que un cuerpo tiene de actuar sobre otro. Locke afirma este punto en el siguiente pasaje:

Pero mientras estemos desprovistos de unos sentidos lo bastante penetrantes para descubrir las partículas de los cuerpos, y para proporcionarnos ideas acerca de las propensiones mecánicas, es preciso conformarnos con estar en ignorancia de sus propiedades y su manera de operar; y no podemos tener más seguridad acerca de este asunto, que cuanto pueden mostrarnos algunos experimentos. [*Ensayo IV, 3, 25*]

La segunda condición equivale a conocer el mecanismo por el cual ciertas configuraciones de corpúsculos producen las ideas de sensación. Este segundo requisito exige conocer de qué manera una determinada configuración de volúmenes, formas, números y movimientos de corpúsculos produce, por ejemplo, una sensación como una fragancia, un color, un sabor o una impresión de aspereza o suavidad. Todo lo anterior es equivalente a saber de qué manera un cuerpo produce una idea en la mente y este tipo de conocimiento también está vedado a la especie humana. Según Locke, los hombres no tenemos ni la más ligera noción de la forma en que las propiedades primarias producen las ideas de sensación en nuestras mentes. Afirma Locke:

Si pretendemos ir más allá de las meras ideas en nuestras mentes, con el deseo de inquirir sus causas, no podemos concebir que haya en los objetos sensibles ninguna otra cosa, por donde produzcan diversas ideas en nosotros, que la diversidad en bulto, forma, número, textura, y

⁸¹ Locke utiliza la expresión '*perfect science of natural bodies*' en [*Ensayo IV, 3, 29*].

movimiento de sus partes. [Ensayo II, 21, 73].⁸²

Así, a pesar de que Locke expone las condiciones que debería satisfacer una ciencia perfecta de la naturaleza, concluye admitiendo que no es posible lograr este tipo de conocimiento. Una consecuencia de las limitaciones anteriores es que, respecto de los cuerpos naturales, los humanos sólo poseemos conocimientos cuyo origen es la experiencia sensible y por lo tanto conocimientos que nunca alcanzan certeza absoluta. Sólo por experiencia conocemos los efectos que algunos vegetales producen en el hombre: que el ruibarbo purga, que la cicuta mata y que el opio duerme (Cfr. [Ensayo IV, 3, 25] y [IV, 8, 6]). Si fuera posible conocer las configuraciones y movimientos de los corpúsculos que forman tanto estas plantas como los órganos en donde éstos actúan, podríamos conocer los efectos que comprobamos por experiencia sin necesidad de pruebas y con certeza idéntica a las que tienen las matemáticas. Más aún, un eventual conocimiento de las operaciones entre las partículas que forman estos cuerpos nos posibilitaría conocer dichos efectos con una certeza similar a la que sabemos que la suma los ángulos de un triángulo es igual a dos rectos o discernir esos mismos efectos en forma análoga a como un relojero que ha construido un reloj sabe que éste se detendrá si se obstaculiza o se destruye alguno de sus engranajes.

La 'ciencia perfecta de los cuerpos naturales' reexaminada

En mi opinión, Locke cede demasiado fácilmente a la posibilidad de una ciencia perfecta de los cuerpos naturales, sin reparar que sus compromisos ontológicos y epistemológicos le permitirían extraer algunas conclusiones adicionales. Con esta afirmación no pretendo defender la factibilidad de este tipo de conocimiento, sino sólo afirmar que los humanos estamos un poco más cerca de dicha ciencia que lo que Locke cree y en consecuencia su impugnada ciencia perfecta más cercana a mi versión de mecanicismo puro. En esta parte del trabajo presentaré un argumento que apoya esta afirmación.

Creo que existen elementos en Locke que permiten afirmar que el problema de determinar cómo interactúan los corpúsculos a nivel microscópico no es diferente del problema de determinar cuáles son sus cualidades reales, a pesar del hecho de que éstos sean inobservables. Y ello es así pues del mismo modo en que Locke afirma que los corpúsculos imperceptibles tienen las cualidades de forma, solidez, número y movimiento o reposo, él debería aceptar que las leyes del movimiento que rigen los cuerpos a nivel macroscópico deben ser las mismas que valen a nivel corpuscular. Tanto el ejemplo del grano de trigo como en mi adaptación del trozo de madera muestran que Locke adscribe dichas cualidades sobre la base de una inferencia transductiva⁸³, inferencia que permite adscribir ciertas propiedades observadas en objetos sensibles a objetos o eventos en principio inobservables. En palabras del propio Locke, los corpúsculos imperceptibles de materia 'retendrán necesariamente, cada una de ellas, todas esas cualidades' (*they must retain still each of them all those qualities*). Esta última proposición sugiere que Locke no está realizando una mera

⁸² Cfr. además [Ensayo IV, 17, 10]

⁸³ Es decir, un tipo de inferencia ampliativa en la que se pasa de propiedades observables a propiedades inobservables.

descripción epistemológica acerca del alcance del conocimiento, sino que se trata de fuerte afirmación ontológica acerca de las características de los corpúsculos. Ahora bien, si los corpúsculos imperceptibles poseen las mismas cualidades primarias que los cuerpos observables, también es lícito suponer que aquellos interactúan entre sí de acuerdo a las mismas leyes que rigen a éstos. O dicho de otra manera, que las leyes mecánicas valen para todos los dominios de la naturaleza, sin importar el tamaño de los cuerpos.

En ningún pasaje de su *Ensayo* Locke declara alguna preferencia por una teoría mecánica particular. Sin embargo, hacia la época en que Locke escribió este trabajo, las teorías mecánicas más importantes en vigencia eran la aristotélica, la cartesiana y la newtoniana. Difícilmente habría aceptado Locke la mecánica aristotélica como descripción de la realidad física y ello por el simple hecho de que ésta resulta incompatible con el corpuscularismo. Las leyes del movimiento de las dos teorías mecánicas restantes consistían en expresiones algebraicas que involucraban la masas de los cuerpos y alguna medida de su movimiento (velocidad o aceleración).⁸⁴ Todos estos factores eran susceptibles de un tratamiento matemático y ninguna de las leyes del movimiento tenía en cuenta la dimensión o tamaño del cuerpo al cual se aplicaba. Ahora bien, dado el carácter matemático de las leyes del movimiento y considerando que ninguna de estas leyes pone restricciones al tamaño de los cuerpos, se concluye que es posible concebir un conocimiento de la interacción de los corpúsculos que alcance una certeza igual a la certeza de las matemáticas. Esta 'ciencia corpuscular' nos permitiría poder conocer el desarrollo espacio-temporal de cualquier conjunto de corpúsculos y ello se lograría por medio de una deducción en principio no del todo diferente a la demostración de un teorema en matemáticas. Claro que para alcanzar este conocimiento uno debería ser capaz de conocer las condiciones iniciales de cualquier configuración, lo cual equivale a conocer las propiedades primarias de los corpúsculos. Pero incluso este conocimiento fue pensado como posible en un tiempo futuro por el mismo Locke. Hacia finales del siglo XVII, las invenciones más celebradas en el campo de la óptica eran el telescopio y el microscopio (desarrollados por Galileo y Antoni van Leeuwenhoek, respectivamente) y fue justamente el segundo de estos aparatos el que generó expectativas de observar las cualidades primarias de los corpúsculos.

Si mi interpretación es viable, ella resolvería el primer escollo en la construcción de una ciencia perfecta de los cuerpos naturales, aunque el segundo requisito que define a este tipo de conocimiento fuera considerado como infranqueable por Locke. Este autor creía que los humanos no poseemos ni siquiera una somera idea de cómo se produce la interacción entre la mente y la materia. Y más elemental aún, Locke creía que de nuestra idea de substancia material no podíamos argumentar en favor o en contra del dualismo de substancias. En la esfera de los cuerpos materiales es posible razonar por medio de analogías construidas a partir del comportamiento observable

⁸⁴ En el caso de Descartes, la cantidad de movimiento o *momentum* se define como el producto de la masa por la velocidad y Descartes afirma la conservación de la cantidad de movimiento total del universo (por Dios). En el caso de Newton, la primera de sus leyes del movimiento afirma que la fuerza es un efecto que se mide por la masa del cuerpo y la aceleración o cambio de movimiento (en magnitud y/o dirección) del mismo. Ambos autores asumen alguna forma del principio de inercia.

de cuerpos de tamaño medio, pero estas mismas analogías no pueden ser trasladadas al caso de la formación de las ideas simples en nuestras mentes. Locke afirma este punto de forma contundente y admite un total desconocimiento respecto del mecanismo por el que las propiedades primarias producen ideas en nuestras mentes.

Que mi interpretación acerca de la forma general de una 'ciencia perfecta de los cuerpos naturales' es plausible, está confirmado por el hecho de que Locke mencione solamente casos de potencias como instancias de este conocimiento ideal. En la producción de las cualidades terciarias, son las propiedades primarias de los cuerpos que actúan las que se modifican y nuestras ideas de esos poderes sólo corresponden a la percepción de los efectos. Dicho de otra manera, sólo en la producción de las cualidades secundarias nuestra mente actúa de forma activa. Y para alcanzar una completa elucidación de éstas, es condición *sine qua non* cumplir la segunda condición. Así, conocer el mecanismo por el cual una determinada configuración de corpúsculos produce una idea particular (por ejemplo, cómo la sustancia oro produce la idea de amarillo) supone justamente conocer la forma de interacción entre la mente y la materia. Pero es justamente esta condición la que Locke consideraba como insuperable.

Además, esta misma interpretación está de acuerdo con la aceptación de un principio de continuidad de la naturaleza esgrimido por Locke. En el capítulo 16 del Libro IV, afirma que existe una conexión gradual en todas las partes de la creación: "Así, encontrando que en todas las partes de la creación existe una conexión gradual entre unas y otras sin ningún vacío considerable o discernible entre ellas, ...tenemos motivos para quedar persuadidos de que las cosas, paso a paso, ascienden hasta la perfección por grados insensibles." [*Ensayo IV, 16, 12*]. Es justamente la existencia de esta continuidad entre los cuerpos infinitamente grandes, los objetos medios observables y los diminutos corpúsculos de materia la que permite suponer que las mismas leyes del movimiento son válidas en todos los casos.

En resumen, en este apartado he intentado especular acerca de la posible estructura de una ciencia perfecta de los cuerpos naturales basada en una ontología corpuscular. Este tipo de especulaciones resultan importantes dada la proximidad que esta noción de ciencia perfecta de los cuerpos tiene con mi noción de mecanicismo puro.

Otros problemas en torno a la relación entre cualidades primarias y secundarias⁸⁵

Lo que en este apartado denomino "el problema del mecanicismo en Locke" puede enunciarse del siguiente modo: Locke admite que las únicas propiedades reales en los cuerpos son las propiedades primarias, es decir propiedades geométricas además de movimiento o reposo; también admite que las propiedades secundarias y terciarias no son reales como las anteriores y que las mismas surgen a partir de las propiedades primarias de los corpúsculos que constituyen los cuerpos; el problema del mecanicismo de Locke consiste de determinar la relación que existe entre el primer y

⁸⁵ Este apartado presento una conjunción de ideas presentadas en las XII y XIII Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia, realizadas en ciudad de La Falda, en septiembre del 2001 y noviembre del 2002, respectivamente.

el segundo grupo de propiedades, es decir, precisar si todas las propiedades no primarias se derivan de las primarias y cuál es el modo de relación entre unas y otras.

Determinar qué tipo de mecanicismo defendió Locke, no es un problema trivial. El tema tiene ramificaciones que involucran cuestiones tales como el concepto de materia, el *status* de las leyes naturales, la noción de mente, el problema de la relación de ésta con la materia, el rol de Dios en el mundo, etc. Suponer una determinada posición en relación a qué tipo de mecanicismo fue el sustentado por Locke implica asumir consecuencias para cada uno de los temas anteriores, consecuencias que no siempre se ajustan a la evidencia textual disponible o que resultan incompatibles con ciertas tesis defendidas por este autor.

La cuestión del mecanicismo en Locke se constituye en un problema en tanto existen pasajes de su obra en las que el autor sugiere que las propiedades secundarias fluyen o se derivan (*flow from*) de las primarias de la misma manera en que las propiedades geométricas de los cuerpos geométricos se deducen de su definición. Pero al mismo tiempo existen otros pasajes de su obra en donde el autor afirma que ciertas propiedades han sido sobre-añadidas (*superadded*) a la materia por un poder omnisciente y que por lo tanto no se derivarían de las determinaciones mecánicas de la materia.

El problema anterior puede ser reformulado en términos de la dicotomía naturalismo-voluntarismo. El naturalismo es la posición que afirma que todos los fenómenos naturales son producidos sólo a partir de las propiedades (naturales) de la materia. Por su parte el voluntarismo o super-naturalismo viene a sostener que algunos fenómenos naturales (sino todos) son producidos a partir de la intervención directa de Dios. Aplicado al caso del mecanicismo, Locke sería un naturalista en el caso de que todas las propiedades secundarias y terciarias se derivaran de las propiedades mecánicas de la materia; y sería un voluntarista en el caso que admitiera que algunas o todas las propiedades secundarias fueron sobreañadidas a la materia por voluntad de Dios. El problema entonces consiste en determinar cuál ha sido la posición de Locke respecto de este punto, tomando en consideración la evidencia textual disponible.

Varios historiadores de la filosofía del siglo XVII han discutido y presentado diversos puntos de vista en relación al tema del mecanicismo de Locke. John L. Mackie [1988] Margaret Wilson [1979], Edwin McCann [1985], Michael Ayers [1975; 1991] y Lisa Downing [1998], entre otros, han propuesto interpretaciones divergentes sobre este tema, y la diversidad de puntos de vista indica que el problema se encuentra lejos de poseer una respuesta concluyente.

Lejos de intentar ofrecer una solución a este problema, en este apartado persigo un doble objetivo: (i) presentar las interpretaciones más relevantes de la literatura secundaria sobre el tema, y (ii) sugerir una posible estrategia de solución a dicho problema. Respecto del segundo objetivo, se defenderá que difícilmente pueda encontrarse una interpretación que se ajuste a *toda* la evidencia textual disponible. Locke, al igual que la inmensa mayoría de los pensadores de todas las épocas, fue un filósofo que bien pudo haber cambiado su opinión respecto de un tema tan sutil como la naturaleza de la mente o de la gravedad, o simplemente no haber alcanzado una

opinión definitiva sobre el caso.

Procederé del siguiente modo: respecto del primer objetivo, en cada uno de las tres secciones siguientes presento los puntos de vista de Michel Ayers, Margaret Wilson y Edwin McCann, bajo el criterio de considerarlos los más destacados del grupo de todas las interpretaciones disponibles. Respecto del segundo objetivo, ofrezco un intento de solución acotando el problema al dominio de la obra más relevante de Locke, esto es, el *Ensayo sobre el entendimiento humano*.

1. La 'posición oficial'

Durante de las décadas de 1960 y 1970, la interpretación más común del mecanicismo de Locke fue aquella que Margaret Wilson denomina 'posición oficial'. Locke distingue entre dos tipos de propiedades: aquellas que realmente existen en los cuerpos y aquellas son nada más que afecciones psíquicas de nuestra mente perceptora. Las primeras corresponden con las propiedades primarias y entre éstas Locke menciona la solidez, la extensión, la figura, el movimiento o reposo, el número, el bulto (*bulk*), y la textura⁸⁶. El segundo grupo de propiedades corresponde a las propiedades secundarias y a las terciarias, las cuales no son nada más que disposiciones de corpúsculos (con propiedades primarias) que interactuando con nuestros órganos sensoriales producen en nosotros ideas sensibles, o que en contacto con otros cuerpos producen alteraciones en sus propiedades primarias. Según la posición oficial, las propiedades secundarias y las terciarias emergen de las cualidades primarias de los corpúsculos de materia que conforman los cuerpos, es decir de sus "esencias reales". Esta interpretación considera que el modo en que unas propiedades emergen de otras es análoga a la forma en que las propiedades de las figuras geométricas se siguen de la definición de dichas figuras. Es decir, que del mismo modo en que la propiedad de tener la suma de los ángulos igual a dos rectos se sigue de la definición de triángulo, las propiedades secundarias emergen de las primarias.

El siguiente pasaje es uno de los más importante que apoyan esta interpretación:

Todo el alcance de nuestro conocimiento, o de nuestra imaginación, no va más allá de nuestras ideas, limitadas a nuestras vías de percepción. Sin embargo, no es de dudarse que los espíritus de más alto rango que los sumidos en la carne puedan tener ideas tan claras de la constitución radical de las substancias, como nosotros tenemos de un triángulo, de manera que puedan percibir cómo de esa constitución fluyen todas sus propiedades y operaciones; empero, de qué manera adquieren semejante conocimiento, es algo que excede todas nuestras concepciones. [*Ensayo* (iii, 11, 23)]

Esta posición oficial, así como la influencia de Boyle en el pensamiento de Locke, fue defendida por autores tales como Alexander (1974) o Curley (1976).

2. Los límites del corpuscularismo: Wilson

En un trabajo aparecido en 1979, Margaret Wilson señala flagrantes discrepancias entre 'la posición oficial' y ciertos pasajes de la obra de Locke donde el autor refiere a ciertas cualidades adicionadas o sobreañadidas a los cuerpos. Entre estas

⁸⁶ La lista de propiedades primarias que Locke señala en distintos pasajes de su obra no es uniforme y las propiedades aquí mencionadas es la unión de las diferentes listas.

propiedades, Locke menciona el pensamiento y la gravedad, propiedades que no tienen una clara relación con la teoría corpuscular de la materia. Veamos cómo refiere Locke a estas propiedades.

En diferentes pasajes del *Ensayo*, Locke parece adherir a la tesis de que la propiedad del pensamiento ha sido sobre-adicionada a la materia y de ninguna manera podría considerarse como derivada de las propiedades primarias. Entre estos pasajes, el siguiente es el más representativo:

[...] nos es imposible, por la contemplación de nuestras propias ideas y sin auxilio de la Revelación, llegar a descubrir si la Omnipotencia no ha dotado a algún sistema de materia, debidamente dispuesto, de una potencia de percepción y de pensamiento, o bien, si no ha vinculado y unido a una materia así dispuesta una substancia inmaterial pensante. Porque, con respecto a muestra nociones, no está más lejano de nuestra comprensión concebir que Dios pueda, si quiere, sobreañadir [*supperadd*] a la materia una facultad de pensar..." [*Ensayo* (iv, 3, 6)]

Leibniz criticó —en su *Nuevo ensayo sobre el entendimiento humano*— que Locke estaría reintroduciendo en este párrafo cualidades ocultas para la explicación de fenómenos naturales. Pero además y peor aún, Locke estaría viciando la relación entre accidentes o modos de las cosas y la substancia. Que Dios haya otorgado pensamiento a un objeto material cualquiera implicaría que esa propiedad no emana de la naturaleza propia del objeto, lo cual se torna inaceptable.

También existen pasajes de trabajos posteriores al *Ensayo* donde Locke afirma un punto de vista un tanto particular respecto de la propiedad de gravedad. Wilson afirma que después de haber leído los *Principia* de Newton, Locke habría quedado convencido de que la propiedad física de la gravedad no era deducible de las propiedades mecánicas de la materia y que por lo tanto debía adscribirse a la voluntad del Hacedor.

Ahora bien, ¿cómo interpreta Wilson esta inconsistencias? Según esta autora es necesario rechazar la interpretación anterior que afirma una derivación necesaria de las cualidades secundarias de las primarias. Para Wilson, Locke fue consciente de las limitaciones tanto científicas como filosóficas que poseía el corpuscularismo de Boyle, razón por la cual resultaría inaceptable que Locke haya creído que todas las propiedades observables de los cuerpos están en una relación comprensible o concebible con las cualidades primarias. [Wilson (1979): 144] Wilson no afirma que todas estas desviaciones de la interpretación oficial signifiquen que Locke haya sido un opositor al realismo científico de Boyle. Todo lo contrario, estas desviaciones sólo muestran la cautela de Locke con lo que consideraba “la mejor teoría de la materia que los hombres les es posible alcanzar”. Wilson también sugiere que Locke podría no haber tenido respuestas concluyentes para problemas tan intrincados tales como la relación entre cuerpo y mente y ésta podría ser una de las razones por las que el autor tuvo una posición ambivalente en relación con estos temas.

3. El mecanicismo experimental: McCann

Edwin McCann ha presentado recientemente [en su (1985)] una solución original de este problema, la cual se focaliza en reinterpretar el tipo de relación que existe entre uno y otro tipo de cualidades. De acuerdo con McCann, cuando Locke afirma que las

cualidades secundarias y las potencias fluyen de las propiedades primarias de los cuerpos, el autor refiere nada más que una difusa analogía entre geometría y mecánica. Las propiedades secundarias fluyen de hecho de la estructuras de los cuerpos que intervienen en un fenómeno natural pero ese fluir de las cualidades y potencias no es idéntico a la derivación de las propiedades geométricas de las figuras de sus definiciones.

McCann centra su análisis en el párrafo iv, 3, 25 del *Ensayo* que afirma:

[Los] corpúsculos insensibles son las partes activas de la materia y los grandes instrumentos de la naturaleza de donde dependen no sólo todas sus cualidades secundarias, sino también la mayoría de sus operaciones naturales [...]. No pongo en duda que, si pudiésemos descubrir la forma, el tamaño, la contextura y el movimiento de las partículas constitutivas de dos cuerpos cualesquiera, conoceríamos, sin necesidad de pruebas, varias operaciones que podrían producir el uno respecto del otro, del mismo modo que ahora sabemos las propiedades del cuadrado o de un triángulo.⁸⁷

Según este autor, la expresión ‘sin necesidad de pruebas (o ensayos)’ (*without trial*) no debe interpretarse en el sentido de una deducción estricta o como un nexo *a priori* entre las determinaciones primarias de los cuerpos y sus cualidades sensibles. La expresión anterior debe ser entendida como una conexión contingente entre unas y otras cualidades, como una que sólo puede ser conocida por experiencia. Un par de ejemplos ilustran esta interpretación: un cerrajero conoce —sin necesidad de pruebas— que cierta llave puede abrir una determinada cerradura y no otra. Y ello sobre la base de su conocimiento de la forma de las plaquetas que forman la cerradura, el contorno de la llave, y la forma de operación de la misma cerradura. Ahora bien, el conocimiento del cerrajero no es de ninguna manera un conocimiento *a priori*. Por el contrario, un cerrajero conoce que algunas llaves abren ciertas cerraduras de la misma forma en que los hombres conocen que los ejes transmiten movimiento a las piedras de los molinos⁸⁸, pues conociendo las formas de las partes rígidas del mecanismo y el hecho de que las partes actúan por contacto, ese conocimiento surge de forma inmediata. Un caso similar ocurre con un relojero que conoce la forma y el tamaño de las piezas que componen un reloj. Este relojero puede llegar a conocer sin necesidad de pruebas que un obstáculo en uno de los engranajes detendrá el funcionamiento o que retrase su marcha. Ahora bien, este pronóstico puede hacerlo gracias al conocimiento experto que posee y de ninguna manera puede decirse que lo conoce *a priori*.

Aquello que el cerrajero y el relojero tienen en común con el geómetra es su habilidad para conocer —sin ensayos o experimentos— cuáles son las propiedades de los objetos de sus respectivas áreas de trabajo y aquello que es posible esperar que suceda en ciertas circunstancias. De forma similar, un filósofo natural podría llegar a descubrir que las partes constituyentes del opio tienen una forma tal que bloquean los poros a través de los cuales pasan algunos espíritus animales, lo cual provoca cierta somnolencia en los humanos. Y este conocimiento no será ni demostrativo ni

⁸⁷ El original afirma: “I doubt not but if we could discover the figure, size, texture, and motion of the minute constituent parts of any two bodies, we should know without trial several of their operations one upon another, as we do now the properties of a square or a triangle.”

⁸⁸ Este mismo ejemplo aparece en la *Lógica de Port Royal*.

intuitivo. McCann refuerza su interpretación mediante la cita del párrafo (iv, 3, 29) donde Locke afirma que “las relaciones pertenecen a la filosofía natural no son como las que pertenecen a la geometría, sino que dependen del poder arbitrario de Dios: en otras palabras, son conexiones conceptuales.” [McCann (1983): 223]

El punto débil de la interpretación de McCann es que se estaría incluyendo bajo la denominación de conocimiento un cierto tipo de saber que no es intuitivo ni demostrativo. Es verdad que un cerrajero puede llegar a conocer sin necesidad de una prueba o ensayo que una llave abrirá un puerta y no otra, pero este tipo de saber no puede ser considerado como conocimiento —en el sentido de *scientia*— para Locke.

4. Límites epistemológicos, no ontológicos: Ayers

Ayers considera que un análisis de la posición de Boyle respecto de la naturaleza de las leyes naturales y de la intervención de Dios en el mundo es imprescindible para comprender la opinión de Locke respecto de la relación entre cualidades primarias y secundarias. De acuerdo con Ayers, Locke puede considerarse como un mecanicista puro en un sentido similar al que lo fue Boyle, aunque en oposición a éste, Locke no habría defendido ninguna teoría mecánica en particular.

En muchos pasajes del *Ensayo* Locke afirma nuestra ignorancia acerca de la constitución interna de las cosas y señala que la causa de esta ignorancia no es otra que la inadecuación de nuestras ideas con la realidad. Conocemos por experiencia que ciertos fenómenos naturales se suceden en conexión constante y regular en la naturaleza, pero la inmensa mayoría de estas conexiones no son descubribles en nuestras ideas. Basándose en estas consideraciones, Ayers propone una restricción epistemológica a la relación entre propiedades reales y sensibles: una “ciencia demostrativa es imposible por nuestra ignorancia, no porque no haya nada por conocer.” [Ayers (1991): 149]

De acuerdo con Ayers, las razones por las que Locke adscribe regularidades físicas que son obscuras para la razón a “la Voluntad arbitraria y al beneplácito del Sabio Arquitecto del Universo” son de dos tipos: en primer lugar por una actitud natural que los humanos tenemos ante la falta de conocimiento de conexiones necesarias y en segundo lugar, porque ésta quizás sea la posición que está más acorde con “la modestia de la filosofía” (iv, 3, 29).

Pero analicemos un punto adicional. Locke atribuye varias relaciones físicas que son opacas a nuestro entendimiento a “la voluntad arbitraria y al beneplácito del Sabio Arquitecto”. McCann arguye que esta atribución sería imposible de acuerdo con una interpretación epistemológica. Pero Ayers afirma que en este caso Locke está apelando a un recurso retórico por medio del cual expresa que, siempre que algo aparezca como invisible, imposible o autocontradictorio, debe considerarse como posible de haber sido creado por el poder de Dios. Más aún, Locke concibe a Dios como un arquitecto sabio (un Dios que se asemeja a aquél que concibe Boyle) más que como un continuo hacedor de milagros. Este dios debe ser considerado como causa primaria no sólo de la emergencia del pensamiento o la gravedad, sino como autor de eventos tales como el Diluvio Universal. De hecho, Dios podría haber producido este diluvio alterando por un tiempo el centro de gravedad de la tierra. De forma análoga, Dios diseñó la materia de forma tal que el pensamiento y la gravedad

emergen de ella, pero más allá de este diseño, las determinaciones primarias que él asignó a la materia deben ser consideradas como las causas secundarias que producen esos fenómenos. Nuestra ideas no son adecuadas para conocer el mecanismo que producen estos efectos, pero ello no significa que éstos sean producidos por un milagro de Dios.

5. Gravedad y fuerzas de cohesión en el Ensayo de Locke

En mi opinión, la estrategia tendiente a encontrar una interpretación que haga justicia con toda la evidencia textual disponible es heredera de un principio historiográfico que exhorta a interpretar a un autor de manera de adscribirle la mayor coherencia posible. Locke, lo mismo que todo ser humano interesado en problemas filosóficos, bien pudo haber variado sus opiniones sobre la enormidad de cuestiones que abordó. Y en particular, bien pudo no haber tenido una opinión sólida y uniforme respecto de la naturaleza de la gravedad o el pensamiento, o simplemente haber carecido de una solución sobre estos asuntos.

Creo que una solución viable para la cuestión consiste en dividir el problema en partes y en épocas. Más concretamente, distinguir cuáles propiedades Locke considera como deducidas y cuáles sobre-añadidas y en qué obra (y época) presenta tal opinión. A fin de aplicar mi estrategia de división y profundización, a continuación presento mi interpretación para el caso del *Ensayo* y analizo la opinión de Locke respecto de la propiedad de gravitación. Analizo esta propiedad en particular dado que esta misma obra parece no presentar ningún tipo de problemas respecto de cualidades secundarias tales como los colores, olores y sabores, así como tampoco respecto a ciertas otras potencias tales como la maleabilidad, la fusibilidad, o la solubilidad de ciertas sustancias. En todos los casos anteriores Locke es claro en admitir que todas estas propiedades no primarias se derivan o fluyen directamente de las propiedades primarias (y en consecuencia, propiedades mecánicas) de la materia.

En el *Ensayo* Locke no menciona ni la palabra ‘gravedad’ (*gravity*) ni el término ‘gravitación’ (*gravitation*), de lo cual se infiere que él no abordó esta problemática de manera directa. Sólo en dos oportunidades menciona el término ‘atracción’ (*attraction*) y en ambos casos lo utiliza para referir al atractivo hacia un bien ausente o remoto (ii, 21, 45) y (ii, 21, 59). Locke si utiliza en un considerable número de casos la palabra ‘fuerza’ (*force*), y su uso puede agruparse en dos grandes significados. Por una parte, en un sentido metafórico tales como la “fuerza de un argumento o de una demostración”, “la fuerza del entendimiento” o “la fuerza de la ley”, y tales casos resultan irrelevantes para un análisis de la fuerza gravitatoria. Por otra parte, Locke utiliza el sustantivo ‘fuerza’ sólo para señalar acciones por contacto. Así refiere a cierto experimento realizado en Florencia, en el que la impresionante “fuerza de empuje de dos tornillos” sobre un globo de oro hueco y relleno de agua hizo que el agua se abriera camino a través de los poros de ese metal tan compacto y que aparecieran gotas de rocío sobre la superficie exterior del mismo (ii, 4, 4). También refiere al movimiento de una burbuja de aire impulsada por “la fuerza del viento” (ii, 21, 67) y a la impresión producida por una fuerza ejercida sobre un sello (ii, 29, 3). En ninguno de estos casos —así como en el resto de pasajes en los que menciona fuerzas de contacto— Locke afirma algo relacionado con la fuerza con que

la Tierra atrae a los cuerpos.

Si aparece en el Ensayo un pasaje que considero revelador del punto de vista de Locke respecto de la naturaleza de ciertas fuerzas. Cito este pasaje *in extenso* y luego analizo su contenido. En él Locke afirma:

La cohesión de las partes sólidas en el cuerpo es tan difícil de ser concebida como el pensamiento en el alma. Si alguien dice que no sabe qué es lo que piensa en él, quiere decir que no sabe que sea la substancia de esa cosa pensante, pero, digo yo, que no sabe mejor qué sea la substancia de una cosa sólida. Pero, además, si dice que no sabe cómo es que piensa, le replico que tampoco sabe cómo es que es extenso, es decir, cómo están unidas las partes sólidas del cuerpo, o cómo es su coherencia para formar la extensión. Porque, aun cuando la presión de las partículas del aire pueda dar razón de la cohesión de varias partes de la materia que son más toscas que las partículas del aire, y que tienen poros menores que los corpúsculos del aire, sin embargo, el peso o la presión del aire no puede explicar, ni puede ser la causa de la coherencia de las partículas mismas del aire. Y si la presión del éter, o de cualquiera otra materia más sutil que el aire, puede unir y mantener reunidas las partes de una partícula de aire, así como las de otros cuerpos, sin embargo, no puede forjar sus propios vínculos y mantener reunidas las partes que forman cada uno de los más pequeños corpúsculos de aquella *materia subtilis*. De tal suerte que la hipótesis, por más ingeniosamente que explique la manera en que las partes de los cuerpos sensibles están atadas por la presión de otros cuerpos sensibles externos, no explica lo mismo respecto a las partes del éter mismo. Y mientras más se pruebe con evidencia que las partes de los otros cuerpos están unidas por la presión exterior del éter, y que no puede haber otra causa inteligible de su cohesión, más nos sume en la obscuridad por lo que se refiere a la cohesión de las partes de los corpúsculos del éter mismo, los cuales, ni podemos concebir sin partes, puesto que son cuerpos y, por lo tanto, divisibles, ni comprender de qué manera tienen cohesión esas partes, ya que, a su respecto, falta esa causa de cohesión que se da para explicar la cohesión de las partes de todos los demás cuerpos. [*Ensayo* (ii, 23, 23)]

El pasaje establece claramente que, según Locke, conocer la causa de la cohesión de las partes de un cuerpo sólido equivale a conocer la causa del pensamiento en el alma y que nuestras ideas complejas acerca de uno y lo otro nos dejan en la más absoluta ignorancia. Por esta razón parecería que, en principio, la interpretación de Wilson acerca de los límites del mecanicismo de Locke surge como la más apropiada para el caso de la propiedad de gravedad en el *Ensayo*. Pero ello no es así. Wilson considera como sobreañadidas a las propiedades que no se derivan de las esencias reales de los cuerpos y ello no se condice con lo que afirma Locke en el pasaje anterior. Antes bien, Locke parecería marcar límites al conocimiento de ciertas propiedades o potencias de algunas substancias, y no atribuir la emergencia de tales propiedades a la voluntad del creador. Es por esta última razón que la interpretación es la que surge como la más apropiada para interpretar la causa de la cohesión de las partes de un cuerpo sólido.

En concordancia con mi rechazo del principio de coherencia máxima, no deseo insinuar que la interpretación de Ayers pueda ser la que mejor se acomode a toda la obra de Locke y respecto de todas las propiedades no mecánicas de la materia, sino sólo a la propiedad de cohesión, y de acuerdo a la evidencia textual tomada del *Ensayo*.

6. Conclusiones al apartado

En este apartado analicé algunas cuestiones en torno al problema del mecanicismo en Locke: presenté las interpretaciones más relevantes de este problema y al tiempo que

planteé un análisis para el caso particular de la gravedad. Mi posición respecto del problema del mecanicismo en Locke puede parecer trivial aunque en cierto sentido es más realista que sus rivales. Esta interpretación deja abierta la posibilidad de que Locke pueda haber cambiado sus puntos de vista respecto de los problemas que enfrentaba y sugiere que debe haberse percatado de la íntima relación que existe entre dichos problemas. Según mi punto de vista, Locke bien pudo haber intentado solucionar algunos de ellos reparando que la solución presentada le creaba otros problemas adicionales que dejaba sin resolver. Por esta razón mi interpretación rechaza el mito de la coherencia en la historia de la filosofía y considera que un uso excesivo de este principio convierte a esta disciplina en mala historia de la filosofía.

Por otra parte mi posición no desmerece el hecho de que la naturaleza de la gravedad fue uno de los temas más controvertidos durante —y sobre todo después— de la época en que Locke publicó el *Ensayo*. Baste recordar las fluctuantes posiciones de Newton sobre el problema, la importante disputa entre Leibniz y Clarke, así como la interminables controversias surgidas entre los geómetras del Continente sobre un tema tan delicado. Creo que redimir a Locke de tener una idea clara de la naturaleza de la gravedad hace justicia al hecho de que este fenómeno fue el mayor obstáculo que encontró la ciencia mecanicista durante el siglo XVIII y aquel que determinará su crisis y posterior disolución.

Las analogías con máquinas

Varios pasajes del *Ensayo* atestiguan la adhesión de Locke a explicaciones de fenómenos naturales en términos análogos al funcionamiento de máquinas. Así por ejemplo, en el marco de la discusión acerca de la identidad de los animales Locke compara a los cuerpos de estos seres con el funcionamiento de un reloj:

[Un reloj no es sino] una organización o construcción de partes dispuestas adecuadamente para un cierto fin que sea capaz de ser realizado cuando se recibe el impulso de una fuerza suficiente. Si suponemos que esa máquina es un cuerpo continuo cuyas partes organizadas se reparan, aumentan o disminuyen por una constante adición o separación de partes no sensibles, tendremos algo muy semejante al cuerpo de un animal; pero con esta diferencia: que en un animal, la adecuación de la organización y el movimiento, en que la vida consiste, comienzan al mismo tiempo, pues el movimiento brota del interior; pero en las máquinas, como la fuerza procede del exterior, muchas veces está ausente cuando el órgano, sin embargo, está en orden y bien dispuesto para recibirla. [*Ensayo* II, 27, 5].

El universo - máquina

Existe asimismo un grupo de pasajes en el *Ensayo* que permiten afirmar que Locke concebía al mundo como una inmensa máquina gobernada por leyes naturales. En el más destacado de estos pasajes, Locke refiere (una vez más) al tema de nuestra ignorancia respecto de las operaciones del mundo natural. En este contexto afirma que si poseyéramos ideas adecuadas de las sustancias que nos permitieran conocer cómo esas cualidades que observábamos fluyen de su constitución interna podríamos conocer —sin necesidad de realizar ningún experimento— qué otras propiedades coexisten aparte de las que ya observamos. Obviamente carecemos de esas ideas específicas de sus esencias reales y peor aún, carecemos de ideas de las esencias reales de todo el medio ambiente que rodea a los cuerpos y hacen que se manifiesten

de la forma en que lo hacen. Locke cree que en la naturaleza todo está articulado y cuando adscribimos ciertas propiedades a ciertos cuerpos, no nos percatamos de la dependencia de ese cuerpo con todo el entorno que lo rodea. El amarillo del oro no es una propiedad intrínseca de una sustancia particular sino que depende del color de la luz que refleja sobre el cuerpo. Si se colocara una pieza de oro en algún lugar alejado de cualquier otro cuerpo, ésta perdería su color, su peso y quizás su maleabilidad. Lo mismo sucede en el caso de los cuerpos vivientes, que dependen absolutamente del medio en que les toca vivir y del cual se nutren y en el cual se reproducen. Así,

Es muy posible que las grandes partes y *los engranajes*, si se me permite la expresión, de esta *prodigiosa estructura del universo*, puedan guardar entre sí tal conexión y dependencia en sus influencias y en sus operaciones que, quizá, las cosas aquí en nuestra mansión mostrarían un aspecto muy diferente y dejarían de ser lo que son si una de las estrellas o cuerpos mayores, colocado a una distancia incomprensible para nosotros, dejara de existir o de moverse como lo hace. Una cosa es segura, y es que las cosas, por más absolutas y totales que parezcan en sí mismas, no son sino dependencias de otras partes de la naturaleza en aquello que nosotros más advertimos en ellas. Sus cualidades observables, sus acciones, sus potencias dependen de algo que está fuera de ellas; y, en la naturaleza, no conocemos ninguna parte tan completa y perfecta que no deba el ser que tiene y sus excelencias a sus vecinos. Es preciso, pues, no limitar nuestros pensamientos sólo a lo superficial de cualquier cuerpo, sino que debemos mirar más allá, para comprender perfectamente las cualidades que están en él. [*Ensayo IV, 6, 11, itálicas mías*].

Este párrafo mostraría entonces que extendiendo la noción de máquinas particulares (que corresponden a las operaciones corpusculares de los fenómenos particulares) a toda la creación, obtenemos una visión de mundo análoga al funcionamiento de una inmensa máquina.

El método de hipótesis⁸⁹

El problema de determinar qué tipo de metodología científica fue defendida por Locke ha sido tema de debate tanto en la historia de la filosofía de la ciencia como en la historia de filosofía moderna. Las primeras interpretaciones consideran a este autor como un inductivista estricto dispuesto a admitir sólo leyes con contenido empírico, en tanto que otras defienden que abogó por el uso de hipótesis sobre inobservables, a pesar de que no recomendó método alguno para su construcción. A partir de la convicción de que existe evidencia suficiente para considerar a Locke como un defensor del método de hipótesis, en esta parte del capítulo mostraré que Locke entendió a la analogía como una clase de inferencia ampliativa que permite generar hipótesis sobre el modo de interacción entre corpúsculos.

Anteriormente —en este mismo capítulo— expuse los argumentos de Locke en rechazo a la posibilidad de una ciencia perfecta de los cuerpos. Una consecuencia de dicha negación es el hecho que respecto de los cuerpos naturales sólo podemos adquirir conocimientos prácticos que sólo alcanzan certeza moral o probabilidad. Es justamente dentro del ámbito del conocimiento probable donde Locke propone utilizar la analogía como un tipo particular de inferencia ampliativa. A fin de ofrecer

⁸⁹ Esta sección es una reelaboración de un trabajo escrito en coautoría con el Dr. Sergio Menna, publicado en *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 5, 5, (1999).

evidencia para mi tesis, presentaré en primer lugar (I) diferentes interpretaciones de la metodología de Locke. A continuación (II) mostraré el uso de Locke de la analogía a través del análisis de casos de complejidad creciente. Y finalizaré esta sección (III) con algunas conclusiones de orden general.

I. Hasta mediados del siglo XX, la mayoría de los trabajos sobre Locke se focalizaban en su teoría del conocimiento. Pero desde esa fecha en adelante comenzó a surgir un cierto interés por los aspectos metodológicos de su filosofía, y fue así que se comenzó a leer su *Ensayo* intentando encontrar recomendaciones metodológicas. El hecho de que Locke tiene posiciones vacilantes respecto de un método para la extensión del conocimiento científico produjo una proliferación de interpretaciones discordantes de dicho método. Así, autores como John Yolton, R. M. Yost y John Losee interpretaron a Locke en clara afinidad con el programa inductivista de Bacon, según el cual la ciencia consiste en recolección de datos, registro de coexistencia de propiedades y generalizaciones empíricas en base a los fenómenos observados (respectivamente [Yolton (1956) y (1970): cap. III, Yost (1951) y Losee (1981): cap. IX]. Yolton, en particular, subraya que la regla central de la metodología de Locke es “no ir mas allá de lo percibido” [Yolton 1970: cap. III, haciendo alusión al [*Ensayo* II, 1, 19]. Desde otro punto de vista, los trabajos de Maurice Mandelbaum, Larry Laudan y James Farr consideran a Locke dentro de la tradición hipotetista, en clara afinidad con las metodologías de Descartes y Boyle [respectivamente, Mandelbaum (1966): cap. I, Laudan (1997), y Farr (1987)]. Según estos autores, Locke postuló hipótesis acerca de inobservables, hipótesis consecucionalmente apoyadas a partir de los datos.

El debate entre una y otra interpretación fue mitigado por Laudan, quien mostró que era posible encontrar en el *Ensayo*, evidencias que apoyan ambos puntos de vista [*Poscriptum* a su (1997)]. Intentando salir del atolladero de sopesar la evidencia textual, Laudan cambia su estrategia y evalúa el trabajo de Locke dentro del contexto de las principales tradiciones de investigación del siglo XVII. Es así como Laudan encuentra más coherente interpretar a Locke como adepto a la tradición hipotetista de Boyle y alejado de un inductivismo estricto.

Reanudando la polémica, años más tarde James Farr advierte que durante el siglo XVII mal se podría hablar de tradiciones de investigación antagónicas y definidas. En un nuevo cambio de estrategia, se propone analizar otros escritos de Locke que permitan decidir la disputa. De este modo analiza la correspondencia y otras obras además del *Ensayo*, prestando particular atención a un manuscrito titulado “*On method*”, que Farr publica como apéndice en su trabajo. A partir de la insistencia y la variedad de contextos en los que Locke utiliza hipótesis –filosofía natural, gnoseología, política, medicina, etc.—, Farr acuerda con Laudan en considerar a Locke como hipotetista y, más aún, sostiene que Locke poseía un método para la comparación y evaluación de hipótesis explicativas [Farr (1987)].

Analizar el *Ensayo*, situar a Locke en una determinada tradición de investigación o estudiar su obra completa, pueden ser estrategias útiles para aumentar nuestra comprensión de su metodología, pero no son suficientes para dirimir el tema en disputa. Y ello por dos razones: primero, porque el *corpus lockeano* contiene párrafos que admiten interpretaciones disímiles y segundo, porque estrategias

como las de Laudan sólo desplazan el problema, ya que definir una tradición de investigación como la de Boyle está lejos de ser un problema trivial⁹⁰. Considerando infecundas las estrategias anteriores, y sustentando la idea de que un modelo metodológico debe evaluarse por su implementación práctica, intentaré mostrar a continuación que Locke pondera la analogía como una herramienta propicia para el avance del conocimiento, tanto a nivel fenoménico como en el ámbito de los eventos inobservables. Mi interpretación realza los aspectos procedurales de la metodología de Locke, a la vez que evita las limitaciones de las interpretaciones citadas. Así, aunque mi interpretación favorece una interpretación hipotetista de Locke, no refuta a la interpretación inductivista del mismo.

II. Según Locke, el avance en el conocimiento práctico se realiza a partir del conocimiento de la coexistencia de las propiedades que forman una sustancia⁹¹. Mostraré el *modus operandi* de esta regla a partir de un primer ejemplo: Supóngase que un investigador denomina “Oro” al conjunto de ideas simples que en un tiempo *t* determinan la esencia nominal de esta sustancia. En este caso, por ejemplo, amarillo, sólido, maleable, fusible, dúctil. Supóngase ahora que este científico experimenta sobre un trozo particular de oro “o” sumergiéndolo en mercurio. Observando que el trozo de oro o se disuelve en esa sustancia, puede conjeturar que la propiedad de solubilidad en mercurio puede ser atribuida a la sustancia “Oro”. Este es un paso analógico, el cual puede formalizarse del siguiente modo:

Premisa 1: Oro _t = (amarillo, sólido, maleable, fusible, dúctil)

Premisa 2: o = (amarillo, sólido, maleable, fusible, dúctil, soluble en mercurio)

Conclusión: Oro _t = (amarillo, sólido, maleable, fusible, dúctil, soluble en mercurio)

En este caso, la comprobación de una nueva propiedad en un cuerpo particular de oro permitió inferir plausiblemente que la misma propiedad está presente en la sustancia “Oro”, hecho que debo verificar por medio de la experiencia en un número determinado de casos. Más aún, Locke también da indicaciones generales acerca del modo de evaluación posterior de una nueva propiedad. Un criterio que ésta debe cumplir es la de ser coherente con el conocimiento previo, y el de lograr apoyo inductivo sobre la base de experimentación. Que esta sea una interpretación fiel de la postura de Locke queda claro a partir del siguiente párrafo:

Así por ejemplo, nuestra definición nominal de oro es la de una sustancia sólida, de color amarillo, fusible a una temperatura determinada, dúctil y maleable; si en uno o más experimentos comprobamos que un trozo cualquiera de esta sustancia —que reconocemos por las cualidades primarias anteriores— posee además la característica de ser soluble en mercurio, conjeturamos que la sustancia oro también tiene esa misma propiedad” (*Ensayo IV*, 12,9).

Según exhibe esta inferencia —a la que denomino ‘generalización analógica’— al

⁹⁰ Sargent, por ejemplo, intenta defender que Locke se alinea en la tradición metodológica de Bacon. [Sargent (1986)].

⁹¹ “Resulta evidente... que la mera contemplación de sus ideas abstractas no nos llevará muy lejos en la investigación de la verdad y la certidumbre. Pero, ¿qué vamos a hacer, entonces, para el progreso del conocimiento de los seres substanciales? ...En este caso la experiencia tendrá que enseñarme lo que no me puede enseñar la razón, y es por experiencia como yo puedo llegar a saber con certeza qué otras cualidades coexisten con aquellas incluidas en mi idea compleja” [*Ensayo IV*, 12, 9].

encontrar una propiedad hasta el momento desconocida coexistiendo en un trozo particular de oro, el investigador la generaliza a la sustancia “Oro”, es decir, incluye esta nueva propiedad dentro del conjunto de ideas simples, redefiniendo la esencia nominal de esa sustancia. Ahora bien, ¿cuáles son los supuestos que subyacen a esta inferencia y la hacen plausible? La elección del investigador no fue casual, pues reconoce al trozo de oro sobre el que experimenta como representativo de toda la sustancia “Oro”. Más aún, en su inferencia está supuesto un principio de uniformidad en la naturaleza. Ambas premisas son condición necesaria para la generalización.

El argumento anterior muestra, a un tiempo, tanto la inteligibilidad del proceso de aceptación de la hipótesis expresada por el enunciado general, como la del proceso de *descubrimiento* de la misma⁹². En este caso la expresión ‘descubrimiento’ debe entenderse en un sentido restringido, puesto que alude al hecho de que el enunciado general no estaba antes, más que al carácter altamente creativo permitido por el paso analógico. Veamos ahora otro paso analógico de mayor amplitud. En la situación anterior podríamos haber establecido que el oro comparte con el plomo, el bronce y otros metales varias propiedades relevantes (de hecho, varias de las propiedades compartidas los convierten a todos en ‘metales’). Comparemos el oro y el plomo. Sobre la base de nuestras conclusiones del ejemplo anterior, podemos realizar la siguiente inferencia⁹³:

Premisa 1: Oro $n+1$ = (amarillo, sólido, maleable, fusible, dúctil, soluble en mercurio)

Premisa 2: Plomo m = (gris, sólido, maleable, fusible, dúctil)

Conclusión: Plomo $m+1$ = (gris, sólido, maleable, fusible, dúctil, soluble en mercurio)

Encontramos nuevamente aquí un paso analógico. En este caso se ve con claridad que el esquema inferencial exhibe la inteligibilidad de la *aceptación*: aceptamos como plausible la afirmación de que el plomo es soluble en mercurio por las características que éste comparte con el oro. ¿Qué nos dice esta inferencia respecto al *descubrimiento* de ese enunciado general? En este caso, el paso conjetural es mayor que el ejemplo anterior, pero las mismas premisas implícitas parecen hacer el paso plausible (recordemos que no estamos hablando de descubrir o construir un enunciado *verdadero*, sino sólo de alcanzar opinión o “certeza moral”). En relación con este punto Locke afirma:

Respecto de esta forma de aumentar el conocimiento; es decir, por experiencia e historia, puedo admitir que un hombre habituado a realizar experimentos racionales puede conjeturar mejor que otro que no tenga esta experiencia... [*Ensayo* IV, 12, 10).

Es importante señalar que en los dos ejemplos considerados opera un esquema de investigación que es iterativo, ya que además de sugerir la coexistencia de una nueva propiedad, funciona como una guía heurística para la experimentación: un científico que encuentre esta sugerencia plausible procurará probar la reacción del plomo al ser sumergido en mercurio. Si nos remitimos al primer ejemplo, podemos suponer que,

⁹² Una aclaración: en la bibliografía sobre esta temática, el término ‘descubrimiento’ se utiliza para designar el proceso de construcción, creación, invención, etc., de hipótesis, independientemente del status ontológico que se otorgue a las mismas.

⁹³ Esta inferencia tiene un carácter pedagógico-expositivo más que reconstructivo.

también allí, consideraciones experienciales similares condujeron al científico a sumergir el oro en mercurio y no en otra substancia. Es seguramente en ese sentido que Locke afirmaba que “la mejor guía en la realización de experimentos [...] procede de un razonamiento cauteloso a partir de analogías” [*Ensayo* IV, 16, 12].

Hasta aquí he exhibido un uso de la analogía que apoya una interpretación inductivista de Locke. El primer ejemplo —considerado por el propio Locke— muestra como la inferencia analógica permite proponer generalizaciones de manera económica. El segundo —construido a partir de consideraciones metodológicas dadas por Locke— muestra como la analogía funciona en el razonamiento científico cotidiano de construcción de leyes. Los intérpretes inductivistas afirman que Locke se detiene en este punto. Losee, por ejemplo, sostiene que a pesar de que Locke atribuyó los efectos macroscópicos observables a interacciones microscópicas inobservables, no intentó correlacionar estos efectos específicos con hipótesis particulares sobre movimientos atómicos [(1981): cap. IX]. Yolton por su parte afirma que “donde las causas naturales no son evidentes, Locke detiene la investigación” [(1956):78]. De este modo, se excluye de la filosofía de Locke a la importante clase de enunciados generales que postulan objetos inobservables: las hipótesis sobre inobservables. Sin embargo, respecto a esta afirmación, Yolton se ve obligado a admitir que “existen algunas sorprendentes excepciones en el *Ensayo*” [*Ibid.*] A continuación trataré de mostrar que el razonamiento que permite a Locke ocuparse de estas “excepciones”— es decir, de hipótesis acerca de inobservables— sigue los mismos patrones analógicos que los ejemplos anteriores.

James Farr y otros autores que interpretan a Locke como hipotetista, fundamentan sus argumentos en pasajes en los que Locke no sólo utiliza hipótesis, sino que incluso hace consideraciones acerca de su utilidad (entre los ‘sorprendentes’ pasajes del *Ensayo*, en el libro IV hay un párrafo titulado “Acerca del correcto uso de las hipótesis”). Todos estos autores consideran que el uso de hipótesis se da exclusivamente en un contexto de justificación. Así McGuire, por ejemplo, entiende que según Locke, las hipótesis están basadas en analogías [(1995): cap. II], y Mandelbaum, que están “inductivamente confirmadas” [Mandelbaum (1966): cap. I]. Así planteada, la cuestión se conoce como problema de la transducción, forma sofisticada del problema de la inducción que analiza cómo los datos observados pueden servir de base justificatoria a objetos y eventos en principio inobservables.

Según mi propia interpretación, Locke utilizó igualmente a la analogía en un contexto de descubrimiento. Veamos un pasaje de Locke muy citado en estas argumentaciones. Se trata del IV.16.12, párrafo titulado: “*En las cosas que no pueden ser descubiertas por los sentidos, la analogía es la gran regla de la probabilidad*”. Allí Locke dice:

Vemos que los animales se generan, se alimentan y se mueven, [y] que el imán atrae al hierro... A estos efectos y otros parecidos los vemos y los conocemos, pero acerca de las causas que entran en operación y acerca de la manera en que se producen estos efectos, sólo podemos adivinar y *conjeturar con probabilidad*. [...] En tales casos, el único auxilio que tenemos es la *analogía*, y sólo de ella derivamos nuestros fundamentos de probabilidad. Así, observando que la pura fricción entre dos cuerpos produce calor ... tenemos motivos para pensar que lo que llamamos calor ... consiste en la agitación violenta de las partículas imperceptibles de la materia incandescente... Así, encontrando que en todas las partes de la creación existe una conexión

gradual entre unas y otras sin ningún vacío considerable o discernible entre ellas, ... tenemos motivos para quedar persuadidos de que las cosas, paso a paso, ascienden hasta la perfección por grados insensibles. [...] Observando ese descenso gradual en el campo de la creación que esta situado por debajo del hombre, *la regla de la analogía hace probable que lo mismo acontezca en las cosas situadas por encima de nosotros y de nuestra observación.* (itálicas mías).

Así, considerando a la analogía como “la gran regla de la probabilidad” y admitiendo la aceptación de al menos dos postulados por parte de Locke, las afirmaciones del pasaje anterior se podrían formalizar con el siguiente silogismo:

Premisa 1: La fricción entre dos cuerpos produce calor

Premisa 2: (Postulado ontológico): los eventos a nivel microscópico son las causas de los fenómenos macroscópicos

Premisa 3: (Principio de continuidad de la naturaleza): existe una conexión gradual en todas las partes de la creación

Conclusión: la causa del calor es una agitación violenta de las partículas imperceptibles de la materia incandescente

Aclaremos algunos puntos respecto de los dos supuestos incluidos en las premisas. El primero afirma la relación causal entre estos dos niveles ontológicos y por lo tanto lo llamo ‘postulado ontológico’. El otro alude a la existencia de un *continuum* entre las entidades y eventos microscópicos y los fenómenos macroscópicos y lo llamo ‘principio de continuidad de la naturaleza’. Es necesario indicar que la conclusión del argumento anterior es una hipótesis acerca de operaciones inobservables entre entidades inobservables. Evidentemente, la analogía funciona aquí como argumento de justificación: dadas esas premisas, la conclusión aparece como muy plausible. Pero también funciona como un argumento de descubrimiento: una vez postulada la existencia de una progresión entre objetos del mundo macroscópico y del mundo microscópico, la conclusión se sigue inmediatamente (es decir, cognitivamente, aunque no lógicamente).

Mi interpretación de la analogía en un sentido generativo está, además, respaldada por afirmaciones explícitas del mismo Locke. En el mismo párrafo del libro IV Locke afirma que, a fin de lograr “el surgimiento de las hipótesis”, es recomendable razonar cuidadosamente a partir de analogías [*Ensayo IV*, 16, 12]. Y en otro lugar nos dice que “quien no quiera engañarse debe construir sus hipótesis sobre los hechos y demostrarlas por medio de la experiencia sensible” [*Ibid.* II, 1, 10].

Algunos autores —entre los cuales aparece Farr— interpretan el término ‘construir’ utilizado aquí por Locke en un sentido justificacionista, es decir, en el sentido de apoyar una hipótesis sobre los datos de la experiencia [Farr (1987): 66 aludiendo al *Ensayo IV*, 15, 4-5 y *IV*, 16, 12]. Para este autor las hipótesis están —“por definición”— “más allá del testimonio de los sentidos”, por lo cual “no pueden ser construidas sobre experiencia sensible” [Farr (1987): 67]. De allí concluye que el uso del término ‘construcción’ debe entenderse en sentido exclusivamente justificacionista.

Sin embargo, el mismo argumento de Farr por medio del cual se elude la posibilidad de generar una hipótesis a partir de la experiencia también podría aplicarse a la justificación de la misma, ya que incluso en esta instancia la hipótesis continuaría

estando “más allá del testimonio de los sentidos”. Por otro lado, si prestamos atención al modo secuencial en que Locke ofrece su afirmación metodológica – “construir hipótesis sobre hechos y demostrarlas por experiencia sensible”— parecería difícil defender que enuncia a ambas instancias como sinónimos, y menos aún como sinónimos justificacionistas. Dicho con otras palabras: Locke afirmaría que, puesto que las causas están ocultas, debemos construir hipótesis sobre ellas y, luego, testear estas hipótesis por medio de experimentos.

Considerar la generación al mismo nivel metodológico de la justificación resulta más coherente que la interpretación de Farr. Más aún, hay en el *Ensayo* otras citas donde Locke utiliza términos “generacionistas” para la construcción de hipótesis. Por ejemplo, en cierto párrafo afirma:

Un razonamiento cauteloso a partir de analogía nos conduce, frecuentemente, al descubrimiento de verdades y producciones útiles que de otro modo permanecerían ocultas”
[*Ensayo* IV.16.12].

Farr interpreta que aquí el término ‘descubrimiento’ debe entenderse en el sentido popperiano de producto final. Pero aunque en el siglo XVII el proceso de descubrimiento no era separable del proceso de justificación –por lo cual el término ‘descubrimiento’ puede incluir los aspectos relativos a la ‘demostración’-, éste aludía inequívocamente a los aspectos de ‘construcción’. Por otro lado, el hecho de que las hipótesis excedan las características de la mera generalización no implica que éstas sean independientes de la experiencia, puesto que pueden ser sugeridas y confirmadas por la misma experiencia. En el último ejemplo aludido, la analogía posibilita un paso más débil que en los casos de generalización pero, a mi entender, no un paso indebido. Interpretar de este modo el paso creativo dado al postular enunciados acerca de causas inobservables permite dar sentido a los casos que resultan ‘sorprendentes’ para el esquema inductivista. Y además posibilita, a diferencia del esquema hipotetista, dar inteligibilidad a todo el proceso de la actividad científica.

III. En los dos primeros ejemplos hemos exhibido el uso de la analogía aceptado por los inductivistas; esto es, como un modo de razonamiento que nos permite hacer generalizaciones acerca de observables. En el tercer ejemplo mostramos de qué manera este tipo de inferencias –tal como defienden los hipotetistas— justifican las hipótesis acerca de inobservables. Pero a diferencia de estos autores hemos argumentado que Locke admite la posibilidad de alcanzar estas hipótesis empleando el mismo patrón analógico que en las generalizaciones respecto a observables.

En síntesis, mi interpretación concuerda con una interpretativa hipotetista de que en el pensamiento de Locke hay una formulación explícita de una ontología inobservable. Del mismo modo estimo que hay en su obra consideraciones metodológicas acerca de la relación entre los datos y las hipótesis. Pero el rasgo distintivo de la presente interpretación consiste en afirmar que esta metodología no se restringe a mostrar el apoyo inductivo analógico en el contexto de justificación, sino que se extiende al contexto de descubrimiento, donde la analogía es utilizada de modo similar que en la ‘construcción’ de generalizaciones en el dominio de lo observable.

Conclusiones

Como ha quedado evidenciado a lo largo del capítulo, la filosofía de Locke guarda muchos puntos en común con mi noción de mecanicismo puro, y ello a pesar del hecho de que no fue objetivo de este autor desarrollar una filosofía natural particular. Tengo la convicción de sus análisis acerca de los alcances y límites del conocimiento humano desnudan tanto las ventajas como las dificultades que mecanicismo enfrentó como programa de investigación. Su noción de ciencia perfecta de los cuerpos naturales expone de forma paradigmática un ideal de conocimiento que aunque deseable, resulta inalcanzable de hecho.

Del mismo modo creo haber ofrecido evidencia suficiente para afirmar que Locke entrevió los problemas metodológicos que emergen del mecanicismo y su solución consistió en sugerir al razonamiento analógico como un tipo de inferencia que, si bien no ofrecía garantías acerca de la verdad de las conclusiones que producía, permitía al menos producir conjeturas plausibles sobre fenómenos inobservables.

Una desviación importante de la filosofía de Locke respecto de mi noción de mecanicismo puro la constituye el hecho de él consideraba tanto a la hipótesis corpuscular como a cualquier ciencia de la mecánica como meras conjeturas que estaban lejos del ideal de *scientia* demostrativa. De este modo, ambos elementos se mantienen dentro de los márgenes del conocimiento probable, aunque con la salvedad de que estas conjeturas son las mejores que los hombres pueden llegar a formular acerca del mundo natural.

Capítulo VII: EL MECANICISMO DE ISAAC NEWTON

Introducción

La filosofía natural de *Sir* Isaac Newton merece particular atención, no por ser este autor un fiel exponente de mi versión de mecanicismo puro, sino por ser quien introdujo la mayor innovación a esta concepción teórica. Esta innovación tiene un aspecto cardinal relacionado tanto con mi definición de mecanicismo puro, como con una de sus consecuencias: la utilización —bajo diversas justificaciones— de fuerzas que actúan a distancia.

Las diversas justificaciones de la existencia de una potencia atractiva entre cuerpos constituyen una muestra de la versatilidad y variabilidad del pensamiento de Newton. De este modo, y dado que no es posible encontrar en Newton una opinión uniforme a lo largo de su carrera intelectual, mi exposición y evaluación de su filosofía natural no hará distinciones entre sus puntos de vistas físicos (como los que presenta en las *Queries* de su *Óptica*) y sus elucubraciones matemáticas (las de los *Principia Mathematica*).

Continuando con la estrategia delineada en capítulos anteriores, comenzaré exponiendo la filosofía corpuscular de Newton y algunos de los puntos más representativos de su ciencia de la mecánica. A continuación presentaré aspectos de la filosofía natural newtoniana que están relacionados con las consecuencias de mi noción de mecanicismo puro: los desarrollos en torno al cálculo fluxiones, su rechazo de una visión del mundo como una máquina perfecta y ciertas discusiones generadas en torno al *status* ontológico de la gravedad. Entre otras cuestiones analizaré aspectos de su metodología y la postulación del tiempo como entidad absoluta.

Los desarrollos matemáticos del cálculo de fluxiones de Newton constituyen un prelude a la sucinta caracterización del mecanicismo los siglos XVII y XIX que ofrezco en los últimos capítulos de este trabajo. Ello fue debido a que la idea subyacente a su cálculo infinitesimal pasó a constituirse en el lenguaje oficial en el que se escribió la mayor parte de la ciencia de ese período.

Atomismo y leyes del movimiento

Newton defendió una concepción atomista de la materia y su mayor defensa de esta doctrina aparece al final de la traducción latina de su *Óptica* en 1706⁹⁴. En una serie de cuestiones (*queries*) Newton aborda de forma condensada problemas ontológicos, epistemológicos, metodológicos y metafísicos, y es en este contexto donde aparece su teoría de la materia. En la *Query* 31 Newton afirma:

... me parece muy probable que Dios haya creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, macizas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el cual fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualquier cuerpo poroso formado a partir de ellas. Tan duras, incluso, como para no gastarse ni romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo

⁹⁴ Esta fue la segunda edición de la *Óptica*, una traducción al latín a cargo de Samuel Clarke, discípulo y amigo personal de Newton.

que el mismo Dios ha hecho uno en el primer instante de la creación. [Newton (1977): 345]

El párrafo muestra que además de partículas sólidas, duras, impenetrables y móviles, Newton está suponiendo la existencia de un espacio vacío en el cual éstas subyacen. Por otra parte Newton afirma que estos átomos tiene la propiedad de reunirse entre sí y componer las diversas substancias que observamos en la naturaleza:

En tanto en cuanto las partículas permanezcan enteras, pueden formar cuerpos de una y la misma naturaleza y textura en todo momento. Sin embargo, si se gastasen o rompiesen en pedazos, la naturaleza de cosas que de ellas dependen habría de cambiar. El agua o tierra formadas de viejas partículas gastadas o de fragmentos de partículas no habría de presentar la misma naturaleza y textura que el agua y tierra formadas desde el principio con partículas enteras. Por consiguiente, puesto que la naturaleza ha de ser perdurable, los cambios de las cosas corpóreas han de ser atribuidos exclusivamente a las diversas separaciones y nuevas asociaciones de los movimientos de estas partículas permanentes, al ser rompibles los cuerpos sólidos, no en el medio de dichas partículas, sino allí donde se juntan, tocándose en unos pocos puntos solamente. [*Ibid.*: 345-6]

Pero, y a diferencia de otros atomistas de la época, Newton también admite —al menos en esta parte de su obra— la existencia de fuerzas actuando entre las partículas. Nos dice que

También me parece que estas partículas no sólo poseen una *vis Inertiae* (fuerza de inercia) acompañada de las leyes pasivas del movimiento que derivan naturalmente de esa fuerza, sino que también están movidas por ciertos principios activos, tales como el de gravedad, y los que causan la fermentación o la cohesión de cuerpos. [*Ibid.*: 346]

Estos principios activos son algo diferente de las cualidades ocultas que postulaban los aristotélicos, las cuales surgían a partir de las formas específicas de cosas. Antes bien, la existencia de estos principios se puede comprobar en la observación misma de los fenómenos naturales, a pesar de que “sus causas no se hayan descubierto aún”. En el caso particular de la gravedad, Newton afirma:

Por último, si mediante experimentos y observaciones astronómicas aparece universalmente que todos los cuerpos en torno a la Tierra gravitan hacia ella y esto en proporción a la cantidad de materia que respectivamente contienen; que del mismo modo la Luna, de acuerdo con la cantidad de su materia, gravita hacia la Tierra, y que, por otra parte, nuestro mar gravita hacia la Luna, como todos los planetas los unos hacia los otros, y que los cometas gravitan de manera semejante hacia el Sol, entonces, como consecuencia de la regla [III], *hemos de admitir universalmente que todos los cuerpos cualesquiera están dotados de un principio de gravitación mutua*. Pues el argumento a partir de las apariencias concluye con más fuerza a favor de la gravitación universal de todos los cuerpos que en favor de su impenetrabilidad, de la que no poseemos experimentos ni medio alguno de observación por lo que respecta a los cuerpos que se hallan en las regiones celestes. No es que yo afirme que la gravedad sea esencial a los cuerpos; por su *vis insita* no me refiero más que a su fuerza inercial, que es inmutable. Su gravedad disminuye a medida que se alejan de la Tierra. [Newton (1993): 463; itálicas mías]

A diferencia de otros filósofos naturales corpuscularistas, Newton mejoró sensiblemente el corpuscularismo en tanto especificó nuevos criterios con los que caracterizar a las propiedades esenciales de la materia. Según Newton, una propiedad esencial se conoce por medio de los sentidos y se reconoce en tanto que no es susceptible de aumento ni disminución, es decir, que no es susceptible ser eliminada del cuerpo. Entre las propiedades esenciales cabe señalar a la extensión, la dureza, la

impenetrabilidad, la movilidad y también la inercia, propiedad esta última con un significado preciso y diferente del aceptado hasta entonces. Es en el Libro III de sus *Principia*, en la tercera de las *Reglas del razonamiento en filosofía* donde Newton afirma: “Las cualidades de los cuerpos que no admiten ni intensificación ni remisión de grados, y las que se encuentran en todos los cuerpos al alcance de nuestros experimentos, han de considerarse *cualidades universales* de todos los cuerpos.” [itálicas mías] Y en la explicación de la regla agrega:

En efecto, puesto que las cualidades de los cuerpos sólo nos son conocidas por experimentos, hemos de tener por universales todas aquellas que están universalmente de acuerdo con los experimentos, y aquellas que no son susceptibles de disminución nunca se pueden eliminar. Ciertamente no hemos de abandonar los elementos de juicios suministrados por los experimentos en razón de sueños y vanas ficciones ingenizadas por nosotros, ni hemos de apartarnos de la analogía de la Naturaleza que acostumbra a ser simple y siempre consonante consigo misma. No conocemos la extensión de los cuerpos de otro modo que no sea por nuestros sentidos, los cuales tampoco alcanzan a todos los cuerpos. Pero, puesto que percibimos la extensión en todos los que son sensibles, hemos de atribuirle también universalmente a todos los demás. Aprendemos por experiencia que muchos cuerpos son duros, y puesto que la dureza del todo surge de la dureza de las partes, inferimos con justicia la dureza de las partículas indivisas, no sólo de los cuerpos que percibimos, sino también de todos los demás. Que todos los cuerpos son impenetrables es algo que cogemos no de la razón, sino de la sensación. Encontramos impenetrables los cuerpos que manejamos y de ahí concluimos que la impenetrabilidad es una propiedad universal de todos los cuerpos cualesquiera. Que todos los cuerpos sean móviles y estén dotados de ciertos poderes (que llamamos inercia) de perseverar en su movimiento o reposo es algo que sólo inferimos de propiedades similares observadas en los cuerpos que hemos visto. La extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia del todo resulta de la extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia de las partes y de ahí concluimos que las mínimas partículas de todos los cuerpos son también todas ellas extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de su propia inercia. Este es el fundamento de toda filosofía. Además, es una cuestión de observación que las partículas divididas aunque contiguas de los cuerpos se pueden separar unas de otras; además, en las partículas que permanecen indivisas, nuestra mente es capaz de distinguir partes aún menores, como está demostrado matemáticamente. Pero no podemos determinar con certeza si las partes así distinguidas y aún no divididas pueden, mediante los poderes de la Naturaleza, dividirse de hecho y separarse unas de otras. Con todo, si tuviésemos la prueba tan sólo de un experimento en que una partícula indivisa sufriese una división al romper un cuerpo sólido y duro, en virtud de esta regla podríamos concluir que tanto las partículas indivisas como las divididas se podrían dividir y separar de hecho hasta el infinito. [Newton (1993): 462]

Los párrafos anteriores son evidencia del atomismo newtoniano. Sostiene la existencia de partículas impenetrables e indivisibles, pero agrega además —y de un modo subrepticio— la existencia de principios activos entre la materia. Pasemos ahora a las leyes del movimiento. Newton presenta estas leyes en su célebre *Principia Mathematica*. La estructura se ajusta a los cánones del ideal de sistematización deductiva, en tanto está constituida por un conjunto de definiciones, axiomas y por teoremas o proposiciones deducidos de aquellos axiomas. Además, la obra está compuesta por tres libros muy distintos entre sí. El Libro I aborda el estudio de los movimientos de uno o dos cuerpos en el vacío y esta parte posee un carácter retrospectivo, en tanto que selecciona, ordena y formaliza los resultados alcanzados en

mecánica durante el siglo XVII⁹⁵. A pesar de la falta de originalidad de los resultados presentados en este libro, los contemporáneos de Newton elogiaron la exposición correcta, clara y concisa lograda por su autor.

En el Libro II Newton presenta una incipiente mecánica de fluidos y esta es la parte más original de la obra de Newton. Con los teoremas presentados en este libro Newton intentó derribar los argumentos peripatéticos en contra de las leyes del movimiento de Galileo. Esas críticas señalaban la imposibilidad de conseguir un vacío perfecto sobre la tierra y, en consecuencia, que aquellas leyes no eran válidas para un mundo real; en la superficie terrestre los objetos se comportaban de otra manera y en principio no era posible desprestigiar el rozamiento del aire en el movimiento de un grave, ya que el aire circundante era una causa más de dicho movimiento. Newton intuyó que para desprestigiar este rozamiento era necesario calcular en qué proporción el aire retarda el movimiento de un cuerpo. Pero este problema era análogo al problema de determinar el movimiento de un cuerpo en un medio resistente. Éste es el tema central del Libro II y aquí Newton muestra su genio tanto para plantear problemas como para vislumbrar respuestas. Lo complejo y novedoso del tema hizo que pocas de las soluciones logradas hayan persistido como válidas, pero fue por esto mismo un precursor en un campo que vio sus frutos en los dos siglos que le sucedieron.

En el libro III o *Sistema del Mundo (matemáticamente tratado)*, Newton presenta cuatro reglas para filosofar y un conjunto de fenómenos que no son otra cosa que datos astronómicos realizados por diferentes astrónomos de la época. El grueso del libro es un conjunto de cincuenta y dos proposiciones que intentan ser descripciones del mundo físico interpretadas de acuerdo a los teoremas de los libros primero y segundo. Con estas proposiciones, la totalidad del aparato formal presentado en los primeros libros logra una interpretación concreta en la descripción de fenómenos naturales, hecho que le permite conjeturar que ha encontrado las leyes que gobiernan el universo.

En cuanto al contenido de las leyes mismas, sólo presentaré aquí los axiomas del movimiento y un grupo reducido —aunque representativo— de consecuencias de dichos principios. El primer axioma del movimiento es la ley de inercia: todo cuerpo persevera en el estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que una fuerza lo obligue a cambiar de estado. El segundo axioma afirma que “el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza impresa, y se hace en la dirección de la recta en la que se imprime esa fuerza”⁹⁶; la novedad de este axioma es que Newton asume que la existencia de una fuerza (de contacto o a distancia) se manifiesta no sólo en el cambio en la magnitud de la velocidad, sino en la variación de la dirección del mismo. El tercer axioma es lo que hoy conocemos como el principio de acción y reacción y reza que “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.” [Newton (1993): 42] Este axioma se suponía válido tanto para acciones de contacto como acciones a distancia. De estos tres axiomas, sólo el primero fue aceptado sin mayores

⁹⁵ Numerosos intérpretes han señalado una semejanza del contenido, la estructura y la función de esta obra con los *Elementos* de Euclides.

⁹⁶ En notación moderna, si m es la masa, v la velocidad, F la fuerza y t el tiempo de acción, esta segunda ley toma este aspecto: $d(mv) = F dt$.

condicionantes en el período siguiente. La noción de fuerza introducida por la segunda ley se interpretó —muy justamente a mi juicio— más como una definición que como una ley natural. Los cartesianos tenían su propia noción de fuerza que hacía superflua de distinción newtoniana entre *vis insita* y *vis impressa*.

En la sección donde se analizan los movimientos de los cuerpos que tienden unos a otros con fuerzas centrípetas⁹⁷, Newton intenta hallar una solución al problema de tres cuerpos que interactúan con una fuerza inversa al cuadrado de la distancia. Antes de enfrentar ese problema, Newton había resuelto el problema del movimiento de dos cuerpos que se atraen, reduciéndolo al problema de un cuerpo atraído por un centro fijo. Claro que el problema de los tres cuerpos no admitía una reducción semejante a la anterior y una solución aunque sea aproximada a dicho problema estaba fuera del alcance de las herramientas que Newton poseía.

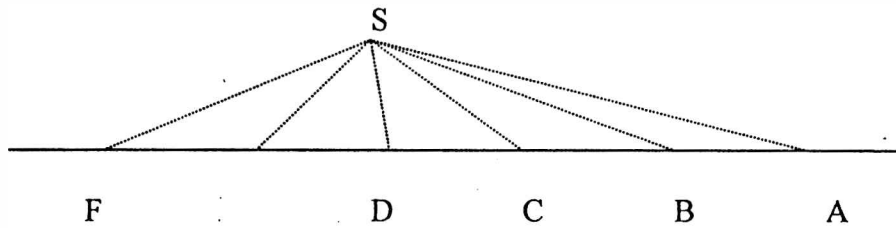
Es a partir de la sección XII del primer libro donde el proyecto de Newton de deducir los teoremas a partir de los primeros axiomas empieza a fallar. Por ejemplo, en su estimación de las fuerzas atractivas de cuerpos esféricos y no esféricos, Newton introduce hipótesis estáticas que no fueron definidas con anterioridad y en las demostraciones subsiguientes hace poco uso de los axiomas definidos al comienzo.

Particularmente interesante resulta el análisis matemático de Newton de la fuerza de la gravedad entre dos cuerpos. En primer lugar supone que toda la masa del cuerpo se halla concentrada en un punto y, además, la descripción de los efectos de cualquier fuerza vale tanto para fuerzas que son impulsos instantáneos como para fuerzas continuas [*Principia*, Ley II]. En los comentarios a dicha ley Newton afirma: "Si una fuerza cualquiera genera un [cierto] movimiento, una fuerza doble generará el doble de movimiento, una triple el triple, *tanto si la fuerza es impresa entera y a la vez, como si lo es gradual y sucesivamente*" [itálicas mías] En el primer caso Newton afirma la proporcionalidad entre un impulso y un cambio en la cantidad de movimiento, y en el segundo afirma la proporcionalidad entre una fuerza continua y la tasa de cambio de la cantidad de movimiento⁹⁸.

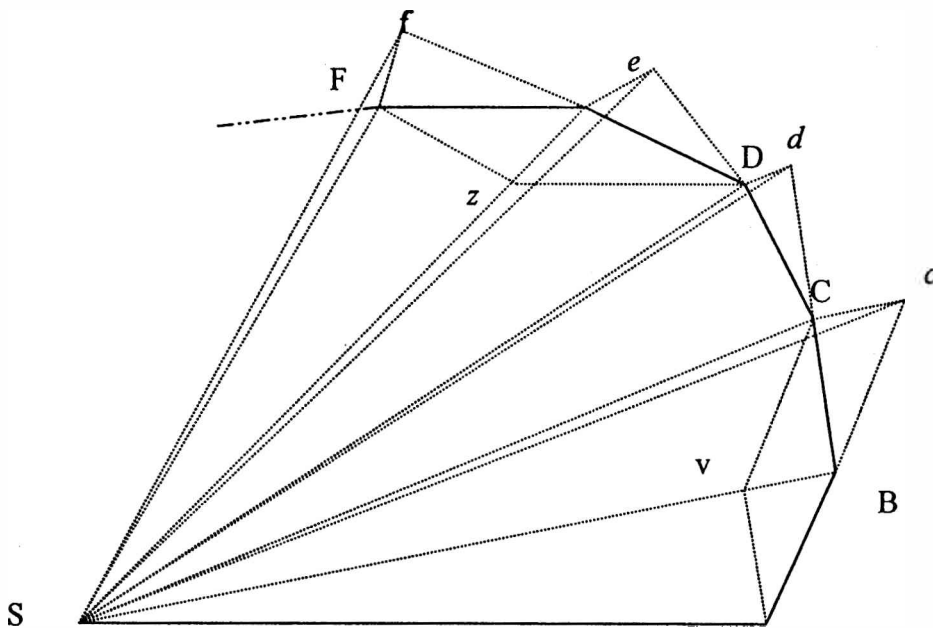
Lo interesante de este caso es que Newton concibe a las fuerzas continuas a partir de una generalización de sucesivas fuerzas impulsivas e instantáneas. Newton lo afirma en la Proposición I, Teorema I: "Las áreas que los cuerpos en revolución describen mediante radios trazados hasta un centro de fuerza inmóvil ... son proporcionales a los tiempos en los que se describen." [Ibíd.: 74]. Analicemos la demostración de este teorema. Newton primero observa que un cuerpo con movimiento inercial describe áreas iguales en tiempos iguales, donde las áreas quedan determinadas por los triángulos cuyo vértice común está fuera de la línea y las bases corresponden a la trayectorias de intervalos iguales de tiempo.

⁹⁷Título de la sección XI. Cfr. Newton (1993), pp. 208-238.

⁹⁸ Newton menciona también los estudios anteriores que sobre fuerzas impulsivas se realizaron; refiere a "Sir Christopher Wren, el doctor Wallis, y el señor Huygens, [como] los mejores geómetras de nuestro tiempo, [quienes] determinaron de diversos modos las reglas de impacto y reflexión de cuerpos duros, comunicando hacia las mismas fechas sus descubrimientos a la *Royal Society* con total unanimidad." [Newton (1993):51]



Seguidamente Newton supone que el cuerpo recibe un impulso que lo desvía de su trayectoria y lo obliga a moverse siguiendo otra recta. Ahora bien, si se incrementa el número de impulsos que el móvil recibe y los mismos se hacen en tiempos iguales, la



trayectoria del cuerpo se convierte en un polígono cuyos lados determinan triángulos con áreas iguales. Si, por último, suponemos impulsos que golpean al cuerpo en cada instante, la resultante será una línea curva que es idéntica al efecto que produciría una fuerza dirigida hacia el centro que desvía continuamente al cuerpo de la tangente de esa curva.

El análisis de una fuerza continua como límite de fuerzas impulsivas constituye un indudable avance para la mecánica de su tiempo, en tanto que esta noción estaba ausente en los escritos cartesianos. Una posible razón de esta ausencia en el caso de Descartes podría ser la falta de herramientas matemáticas apropiadas para analizar fenómenos con cambios continuos. Hay dos aspectos en el análisis de Newton que merecen destacarse. Si este esquema refleja la fuerza gravitatoria desde un punto de vista formal, la misma no sería tanto efecto de una presión (como queda sugerido por los torbellinos cartesianos) como una sucesión que tiende al límite de impulsos

individuales. Esta suposición concuerda con afirmaciones del propio Newton, quien en la introducción a la sección XI del libro I declara: “pasaré ahora a tratar el movimiento de cuerpos que se atraen los unos a los otros, considerando las fuerzas centrípetas como atracciones, aunque en estricto rigor físico pudieran llamarse más apropiadamente *impulsos*” [Ibíd.: 208, la cursiva es mía].

Este mismo análisis muestra tanto el carácter innovador del planteamiento matemático de Newton, como su intención de mantenerse dentro del ámbito de la física aceptada en su época. Así, cuando se produce una fuerza impulsiva es posible describir tanto la causa como el efecto del cambio de la cantidad de movimiento. El ejemplo de Descartes de la pelota que pierde parte de su velocidad después de chocar contra una raqueta es una instancia de ello. En el caso de las fuerzas centrípetas de atracción newtonianas, sólo es posible percibir el efecto (las trayectorias elípticas de los planetas) y se debe suponer una causa. Así, Newton estaría realizando una transformación de la física de lo conocido —acciones por contacto— a la física de lo desconocido —acciones a distancia—, siempre dentro de un esquema teórico-matemático.

Además de su análisis de fuerzas continuas como límites de fuerzas impulsivas instantáneas, Newton demostró que desde el punto de vista de la acción gravitacional, una masa esférica y homogénea es equivalente a una masa puntual con la misma masa que el original. A partir de este teorema, Newton pudo describir los movimientos de los planetas alrededor del sol como un sistema de masas puntuales interactuando de acuerdo a la ley del inverso del cuadrado.

La teoría gravitacional de Newton tiene una relación indirecta con el atomismo, ya que Newton sugiere una identificación entre las masas puntuales que representan cuerpos celestes del sistema solar y las partículas mínimas de materia, siendo la interacción entre las masas gravitatorias dependiente de las distancias de cada caso. Más directa es la relación entre la teoría de la luz de Newton y el atomismo, ya que Newton defendió la naturaleza corpuscular de la luz. En los dos apartados siguientes mostraré hasta qué punto Newton procuró asimilar la fuerza gravitatoria dentro del programa mecanicista, analizando en primer lugar el tratamiento matemático de dicha fuerza y en segundo lugar refiriendo las diversas interpretaciones que el propio autor presentó de esta fuerza: dado que una descripción matemática de un fenómeno natural no es equivalente a explicar por qué el fenómeno sucede en la forma en que sucede, se hace imperioso referirme a las controversias suscitadas en torno a la naturaleza ontológica de esta fuerza.

Las matemáticas del movimiento: el cálculo infinitesimal

Además de ser un físico excepcional, Newton fue también un matemático de primera línea. Junto con Leibniz, fue el creador del cálculo infinitesimal, herramienta sumamente conveniente para la descripción de los fenómenos que involucran movimiento. En este apartado me propondré dos objetivos: primero señalar las principales etapas de la creación de esta herramienta en el pensamiento de Newton y segundo, mostrar la importancia del análisis infinitesimal para la descripción del movimiento de los cuerpos.

Empecemos por el análisis de las principales etapas del desarrollo del cálculo. El primer trabajo de Newton referido a esta herramienta lleva el título *De analysi per*

*aequationes numero terminorum infinitas*⁹⁹, trabajo conocido entre sus amigos a partir del año 1665 pero publicado recién en 1711. En este primer trabajo Newton utiliza los infinitesimales tanto desde el punto de vista geométrico como el analítico, de una forma similar a como los utilizaban su maestro Barrow y el matemático francés Fermat. Newton calcula el área encerrada bajo una curva de la siguiente manera: sea una curva ubicada en abscisa x y ordenada y , cuya área viene dada por $z=(n/m+n)ax^{(m+n/n)}$.¹⁰⁰ Sea o el momento o incremento infinitesimal en la abscisa; la nueva abscisa será $x+o$ y el área aumentada $z+oy=(n/m+n)a(x+o)^{(m+n/n)}$. Aplicando a esta expresión el teorema binomial y dividiéndola por o resulta $y=ax^{(m/n)}$ (despreciando los términos que contienen o). El resultado anterior puede expresarse diciendo que si el área encerrada bajo una curva es $z=(n/m+n)ax^{(m+n/n)}$, la curva será $y=ax^{(m/n)}$, e inversamente, si la curva es $y=ax^{(m/n)}$, el área será $z=(n/m+n)ax^{(m+n/n)}$.¹⁰¹

Newton obtiene así una fórmula para calcular el área, no a partir de la suma de áreas infinitesimales ni a través de métodos equivalentes como el arquimediano, sino por la propiedad existente entre la pendiente a una curva en un punto dado y el área encerrada bajo dicha curva. Para decirlo de otra manera: mientras que antes de este trabajo las cuadraturas de curvas habían sido halladas como límites de sumas (equivalentes a nuestras integrales definidas), Newton determina primero el valor de cambio del área y a partir de este valor halla el área misma por medio de un proceso que podríamos llamar 'integral indefinida de una función'. Es digno de hacer notar que la clave de este proceso es la determinación del valor de cambio, es decir que la noción que nosotros llamamos derivada se toma como idea básica y la integral se define a partir de ella. Este resultado que hoy nosotros conocemos como el Teorema Fundamental del Cálculo, encuentra su primera aplicación sistemática en este primer trabajo de Newton. De esta manera el cálculo infinitesimal puede considerarse como establecido, aunque el mismo no poseía aún una justificación completa y exhaustiva. Por ejemplo, Newton no aclara en ningún momento por qué desprecia los términos que contienen o . Cómo el mismo lo admite, su método es "concisamente explicado más que exactamente demostrado".

La segunda exposición del cálculo lleva por título *Methodus fluxionum et serierum infinitarum* y fue escrito alrededor de 1671 aunque no publicado hasta 1736. Existe un cambio fundamental en la concepción de las variables, ya que si en su primer trabajo las consideraba como agregados infinitesimales, en este segundo se piensan como generadas a partir de movimientos de puntos, líneas y planos. Esta nueva forma de considerar las variables viene influida por las concepciones de su maestro

⁹⁹ Mi análisis de los tres trabajos de Newton sobre cálculo infinitesimal está inspirado en el estudio del desarrollo conceptual del cálculo de Boyer [Cfr. su (1949): 198 y ss]. Del mismo modo —y cuando se consideró conveniente— he consultado también las traducciones de Babini [(1977)].

¹⁰⁰ Newton ya conocía como extraer raíces fraccionarios. Lo hacía mediante la fórmula conocida como 'binomio de Newton'. Afirmaba: "Las extracciones de raíces pueden abreviarse mucho mediante el teorema siguiente: $(P/PQ)^{m/n} = P^{m/n} + (m/n)AQ + (m-n/2n)BQ + (m-2n/3n)CQ + (m-3n/4n)DQ + \text{etc.}$ donde (P/PQ) expresa la cantidad de la cual debe hallarse o la raíz o una potencia cualquiera o la raíz de una potencia." [citado en Babini (1977): 14]

¹⁰¹ El simbolismo no debe apabullar aquí. Lo que Newton calcula no es más que la derivada e integral de una función exponencial de la forma $y = x^n$, con la salvedad que lo hace para cualquier potencia (m/n) y buscando una constante que le permita eliminar términos $(n/m+n)$.

Barrow, quien consideraba que la principal característica del tiempo era su constante fluir.

En este método considera a las variables x e y como cantidades que fluyen —o ‘fluentes’— de las que se pueden obtener sus ‘fluxiones’ o velocidades de variación. A estas fluxiones las representaba con la misma letra que las fluentes pero con un punto sobre ellas. Las cantidades o fluentes de las cuales x e y son sus fluxiones las representaba con las mismas letras con un acento sobre ellas. Duplicando los puntos o los acentos sobre las letras representaba las fluxiones de las fluxiones o las fluentes de las fluentes.

Newton enuncia el problema de una manera directa: dadas ciertas cantidades en una determinada relación, encontrar las relaciones de sus fluxiones. Tomemos por ejemplo determinar la fluxión de $y = x^n$. Llama o a un intervalo infinitamente pequeño de tiempo y $x'o$ e $y'o$ a los incrementos infinitamente pequeños o momentos de las cantidades fluentes x e y . Reemplaza a x por $x'o$ e y por $y'o$, realiza las operaciones aplicando su teorema del binomio, divide por o y cancela los términos que no contienen o . Como o era una cantidad muy pequeña, los términos en los que aparece esta cantidad se desechan por ser muy pequeños con relación a los restantes. El resultado obtenido es $y' = nx^{(n-1)}x'$.

Es importante remarcar una diferencia con su primer trabajo y es que a pesar de utilizar nuevamente lo infinitamente pequeño, esta noción es considerada en forma dinámica, en similitud con la noción de *momento* de Galileo y en contraposición a la forma estática de los *indivisibles* de Cavalieri. Para justificar la cancelación de los términos pequeños que contienen o , Newton señala que las fluxiones siempre son consideradas en razones y nunca solas.

El tercero de los trabajos sobre cálculo infinitesimal se titula *De quadratura curvarum* y fue escrito en 1676 aunque no publicado hasta 1704. En este trabajo Newton considera las cantidades matemáticas como descritas por movimientos continuos, dejando de lado cualquier consideración acerca de infinitesimales. Tomemos una vez más el ejemplo de calcular la fluxión de x^n . Newton reemplaza x por $x+o$, calcula luego $(x+o)^n$ por medio del teorema del binomio; a la cantidad obtenida le resta x^n obteniendo como resultado el cambio en x^n correspondiente a un cambio o en x . Procediendo en esta oportunidad con mayor rigor que en otras oportunidades, en vez de desechar los términos pequeños que contienen o , Newton calcula la razón entre el cambio de x y el cambio de x^n , resultando 1 en razón con la serie $nx^{(n-1)} + n(n-1)/2ox^{(n-2)} + \dots$, permitiendo que los términos con o desaparezcan.

¿Cuál fue entonces el aporte de Newton a este importante capítulo de las matemáticas? Newton no fue el primero en realizar diferenciaciones e integraciones, del mismo modo en que tampoco fue el primero en entrever la relación inversa entre estas dos operaciones. Pero sí fue el primero en utilizar un algoritmo general que servía para encontrar las derivadas e integrales de cualquier tipo de funciones, tanto algebraicas como trascendentes.

El cálculo infinitesimal significó un notable avance respecto de la geometría en la descripción del movimiento. Esta herramienta conceptual permitía operar con series infinitas del mismo modo que con ecuaciones polinómicas finitas y la potencialidad

de esta herramienta se visualizó en el análisis del movimiento: el movimiento es un fenómeno que se engendra en el espacio y en el tiempo, y la característica más importante de estas dos variables es su continuidad.

El *status* ontológico de la acción a distancia

Newton consideró varios escenarios posibles para dar cuenta del fenómeno de atracción producido por la gravedad. En el primero de estos escenarios, Newton reafirma de su posición empirista y rechaza de la necesidad de explicación de tal fenómeno. En este sentido debe interpretarse su famoso *dictum* ‘*hypotheses non fingo*’ que aparece en el Escolio General de sus *Principia*:

... hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos y yo no supongo hipótesis. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental.” [Newton (1993):621]

Newton consideró la posibilidad de explicar la gravedad mediante una hipótesis mecánica. De acuerdo con esta explicación la gravedad sería producida por la presencia de un “*medium* sutil, elástico y etéreo de densidad variable, el cual impulsa a la los cuerpos desde las partes más densas hasta las más tenues, por presión, es decir, mecánicamente por contacto”¹⁰².

Newton también consideró la hipótesis teológica según la cual la gravedad es una propiedad del espacio, la cual está relacionada con el poder de Dios.¹⁰³ En la *Query* 31 de su *Óptica* Newton afirma:

“¿no se sigue de los fenómenos que hay un ser incorpóreo, viviente, inteligente, omnipresente que ve íntimamente las cosas en el espacio infinito como si fuera en su órgano de la sensación (*sensorium*) percibiéndolas plenamente y comprendiéndolas totalmente por su presencia inmediata ante Él?”

Asimismo, también en la *Query* 31 de su *Óptica*, Newton sugiere la existencia de ‘principios activos’ en la materia, principios responsables de la producción del fenómeno de atracción. Allí afirma:

No considero que estos principios sean cualidades ocultas, supuestamente derivadas de las formas específicas de las cosas, sino que son leyes generales de la naturaleza por las que se forman las cosas mismas y cuya verdad se nos manifiesta por los fenómenos, aun cuando sus causas aún no hayan sido descubiertas. Pues estas son cualidades manifiestas, y lo único oculto son sus causas. [Newton (1977): 346]

Para nuestra mentalidad contemporánea, una fuerza atractiva que se propaga por el espacio, sin que medie agente alguno que transmita dicha acción puede ser considerada como una hipótesis bastante plausible. Pero este no fue el caso en la época en que Newton escribió sus *Principia*. Aquellos que impugnaron a la fuerza de gravedad lo

¹⁰² Cfr. también [Solís (1987)]

¹⁰³ Fue justamente esta afirmación de que el espacio sería una especie de órgano de Dios lo que motivó el ataque por parte de Leibniz. En su intento por defender la filosofía natural inglesa de las graves acusaciones continentales, el Doctor Samuel Clarke tuvo que matizar en un sinnúmero de veces esta afirmación newtoniana. Cfr. principalmente las primeras y segundas cartas de Leibniz y las correspondientes respuestas de Clarke en [Rada (1980): 51-77]

hacían a partir del rechazo que produjeron las cualidades ocultas aristotélicas y bajo el temor de su reintroducción en ciencia. Fue por este motivo que la consideración de la fuerza de gravedad originó una fuerte controversia a partir del momento en que Newton la propuso. A fin de mostrar el tipo de discusiones generadas en torno al *status* ontológico de esta fuerza de gravedad, presento a continuación un artículo de M. de Maupertuis de 1742, en donde el autor se encarga de presentar los argumentos en pro y en contra de la existencia de dicha fuerza.¹⁰⁴

En el comienzo del artículo, Maupertuis presenta las ventajas y desventajas de los dos *máximos sistemas de mundo* en la explicación de la atracción. Descartes y sus discípulos creían que la atracción era el efecto de una fuerza centrífuga producida por alguna materia sutil que circula alrededor de los cuerpos hacia los cuales los otros pesan, la cual los empujan hacia el centro de circulación. Respecto de este punto Maupertuis afirma:

Un cuerpo en movimiento que encuentra a otro tiene fuerza para moverlo. Los cartesianos intentan explicarlo todo por este principio, y mostrar que la gravedad misma no es más que una consecuencia. En esto, el fundamento de su sistema tiene la ventaja de la simplicidad, pero es necesario reconocer que en el detalle de los fenómenos se encuentran grandes dificultades. [Maupertuis (1985): 52].

En cuanto a Newton, Maupertuis considera que ha demostrado las inconsistencias de la teoría de los torbellinos y que contrariamente a la posición de los cartesianos, no supone en la Naturaleza otro principio de acción aparte del que afirma que todas las partes de la materia pesan unas sobre otras. Con este principio Newton logra explicar los fenómenos naturales y proveer de bases para “el verdadero Sistema del Mundo”. La desventaja evidente de este sistema es la dificultad en admitir la hipótesis según la cual los cuerpos alejados actúan unos sobre otros.

Maupertuis reconoce que este punto de vista de “*Monsieur Newton*” ha levantado sospechas entre los espíritus más agudos y que muchos han visto renacer con esta hipótesis la doctrina de las cualidades ocultas. Pero en su defensa, niega que este autor haya considerado la atracción como una explicación de la gravedad de los cuerpos entre sí. Para Newton, el término ‘gravedad’ designa un hecho y no una causa; es una especie de nombre para el innegable fenómeno de que los graves se atraen entre sí. Newton incluso deja abierta la posibilidad de que esta tendencia fuese causada por alguna materia sutil que emergiendo de los cuerpos, fuese el efecto de un verdadero impulso; y si así fuese, sería siempre un primer hecho desde el que se podría partir para explicar los demás hechos que dependen de él.

Con todo, Newton no considera que estas cuestiones sean de su incumbencia. Dado que la atracción es susceptible de más y de menos —siendo por ello objeto de las matemáticas— Newton se interesa principalmente en demostrar las relaciones numéricas que rigen los fenómenos que involucran gravedad. Más aún, Newton lleva a cabo todos sus cálculos sin importarle cual sea la naturaleza de la gravedad, ya que el uso que se haga de las conclusiones será tan seguro como el que se haría de objetos

¹⁰⁴ *Discours sur les différentes figures des astres, d'où L'on tire des conjectures sur les étoiles qui paroissent changer de grandeur, et sur l'anneau de Saturne, avec une exposition abrégée des systèmes de M. Descartes et de M. Newton*, en [Maupertuis (1985): 47-90].

cuya naturaleza fuera totalmente conocida.

Se pueden mencionar varios casos de pensadores que realizaron grandes investigaciones sin considerar la causa de los fenómenos que analizaron. Así por ejemplo, “el divino Arquímedes investigó las leyes de la mecánica y la hidrostática, sin pararse a indagar la causa de la gravedad o del estado fluido. [Arquímedes] se limitó a tomar como base lo que la percepción inmediata nos enseña, y partiendo precisamente de aquí, consiguió penetrar con gran fuerza los secretos de estas dos ciencias.”¹⁰⁵ Otro caso es Galileo, quien “sin conocer la causa de la gravedad de los cuerpos hacia la Tierra, no ha dejado de darnos sobre esta gravedad una teoría muy bella y segura. Si al fin y al cabo los cuerpos pesan los unos hacia los otros, ¿por qué no estaría permitido también buscar los efectos de esta gravedad sin profundizar sus causas?” [Maupertuis (1985): 53].

Para los empiristas, el testimonio directo dado en la experiencia era el origen de cualquier conocimiento posible, a la vez que condenaban al fracaso cualquier intento de remontarse hasta las causas primeras. Conocer un hecho de la naturaleza es conocer la relación que tiene con otros hechos; y esta relación se establece por medio de una proposición escrita en lenguaje matemático que encuentra confirmación tanto en hechos pasados como futuros. En una ley se someten los fenómenos a una determinada regla y a un orden general. Son, por esta razón, los auténticos objetos del conocimiento y los únicos que explican los fenómenos. Preguntar acerca del *por qué* de estos fenómenos significa preguntar por la causa de los mismos, para lo cual los aristotélicos admitieron propiedades ocultas y los cartesianos proponen fenómenos microscópicos muy difíciles de corroborar. No a la pregunta sobre el *por qué* de los fenómenos la que los newtonianos intentan dar respuesta; y más aún, creen que su respuesta está más allá de los límites del conocimiento.

Maupertuis presenta un argumento con el que pretende mostrar que si se desea considerar a la atracción como una propiedad de la materia, esta suposición no encierra contradicción alguna. El argumento es el siguiente: bien es sabido que no tenemos ideas completas sobre los cuerpos y que sólo percibimos algunas de sus propiedades. Los filósofos han clasificado a estas propiedades en primarias y secundarias y entre las primeras consideran la extensión, la impenetrabilidad y la propiedad que tienen los cuerpos de mover a aquellos con los cuales tropiezan en su movimiento. Las propiedades que llaman secundarias son de alguna manera explicables a partir de estas primarias. Ahora bien, “sería ridículo querer asignar a los cuerpos otras propiedades que aquellas que ha mostrado la experiencia que allí se encuentran; pero lo sería quizás más, querer, tras un pequeño número de propiedades apenas conocidas, pronunciar dogmáticamente la exclusión de cualquier otra” [*Ibid.*: 55]. Es razonable excluir ciertas propiedades contrarias a las que conocemos que poseen: es legítimo decir que la penetrabilidad, la inmovilidad, la ausencia de extensión no pertenecen a la materia. Pero si se reflexiona sobre la propiedad de los cuerpos de atraerse los unos hacia otros, debería ser la experiencia la encargada de juzgar esta afirmación, y la experiencia no nos enseña que lo contrario deba ser una propiedad esencial. De aquí se sigue que admitir la atracción como una propiedad inherente de los cuerpos no acarrea

¹⁰⁵Keill, *Introductio ad veram Physicam*. Citado en [Cassirer (1956): 380].

contradicciones.

Más aún, la gravedad debe admitirse sobre la misma base en que se acepta la impenetrabilidad. A la pregunta de cómo es que conocemos que esta fuerza realmente atrae a los cuerpos entre sí, el empirista responde con otra pregunta: ¿Cómo es que conocemos que un cuerpo en movimiento comunica parte de él a otro que encuentra en reposo en su camino? Y los empiristas dirán que sólo el hábito nos autoriza a aceptarlo sin titubeos. Esta fuerza impulsiva sólo es familiar a nosotros por las distintas experiencias que tenemos en la vida diaria. De la misma manera, la fuerza de atracción, en tanto que muy débil, no puede ser percibida entre cuerpos de dimensión pequeña, aunque sí es evidente su efecto en las grandes masas celestes, ya que es la causante de sus revoluciones alrededor del Sol.

Otro razonamiento que rechaza la atracción afirma que la propiedad que tiene un cuerpo en movimiento de comunicar fuerza impulsiva es una consecuencia de la propiedad de impenetrabilidad, propiedad que todos los filósofos parecen admitir en la materia. Cuando un cuerpo se mueve hacia otro, podría continuar su movimiento si pudiera penetrarlo, pero como los cuerpos son impenetrables, es necesario que exista una ley que compatibilice el movimiento con la impenetrabilidad de los cuerpos. Sin embargo este argumento deja intacta a la atracción como propiedad de la materia, ya que no prueba que esta sea incompatible con la impenetrabilidad ni con ninguna otra propiedad primaria. De esta manera concluye Maupertuis:

La atracción no es más que una cuestión de hecho; en el Sistema del Universo es donde necesitamos buscar si es un principio que se dé efectivamente en la Naturaleza, hasta que punto es necesario para explicar los fenómenos, en fin, si es introducido inútilmente para explicar hechos que bien se explican sin él. [*Ibid.*: 58]

Entre las conjeturas acerca del *status* ontológico de la fuerza de gravedad, la opinión de D'Alembert es importante por varios motivos: en primer lugar, este autor fue un geómetra de primera línea que mejoró y expandió el cálculo infinitesimal elaborado por Newton; y en segundo lugar, porque al igual que su antecesor, argumenta desde una postura empirista según la cual el auténtico conocimiento es el conocimiento de los efectos que se nos presentan ante los sentidos. En el *Discurso preliminar de la Enciclopedia*, al referirse al examen de los cuerpos terrestres, dice: "todas las propiedades que observamos en estos cuerpos tienen entre ellos relaciones más o menos sensibles para nosotros: el conocimiento o el descubrimiento de estas relaciones es casi siempre el único fin que nos es dado de conseguir, y el único, por consiguiente que deberíamos proponernos." [D'Alembert (1984):41]. Y de modo semejante, en su *Traité du Dynamique*, refiriéndose específicamente a la propiedad de atracción recíproca que experimentan los cuerpos, nos dice: "... los *efectos* de este último modo de acción han sido suficientemente investigados" [D'Alembert (1921), cursiva mía], razón por la cual no es necesario penetrar en la investigación de sus causas.

También Laplace, en su *Exposition du Système du Monde* presenta sus opiniones en relación con el tema de la gravitación. Laplace cree que la crítica de los filósofos franceses de que la gravitación universal era una cualidad oculta habría sido justa si Newton no hubiese mostrado la concordancia entre varios fenómenos y dicho principio. Pero Newton mismo, y todos los geómetras que han trabajado en mecánica después de él, fueron capaces de confirmar los resultados de los análisis con las observaciones. Esta

conexión entre hechos particulares y un hecho más general es el rasgo esencial de toda pretendida teoría. Laplace extendió este mismo modelo a sus investigaciones de fuerzas de corto alcance con las que apuntaba a explicar —entre otros hechos— los fenómenos de capilaridad. Esta fuerza merecía el calificativo de ‘verdadera’ en tanto mostraba una cierta adecuación entre los resultados analíticos y las observaciones. En capítulo 17 del Libro IV, titulado *Réflexions sur la loi de la pesanteur universelle*, Laplace se hace esta pregunta en relación a la ley de gravitación: “¿Es este principio una ley primordial de la naturaleza o es simplemente el efecto general de una causa desconocida?” [Laplace (1984): 397]. Según Laplace, nuestra ignorancia de las propiedades íntimas de la materia no nos permite responder estas preguntas y por esta razón aconseja considerar al fenómeno de la gravitación a partir de los efectos que produce.

En síntesis, estas discusiones en torno al *status* ontológico de la gravedad muestran cuán difícil de aceptar resultaba la idea de una fuerza actuando a distancia, sin ningún medio que la transmita. Y ello a pesar de la alta estima que alcanzó la sistematización y descripción matemática que de sus efectos logró Newton y otros geómetras después de él. Según mi opinión, el origen de esta discusión fue justamente la aceptación paulatina y lenta de los principios mecanicistas, en particular del axioma que rechazaba cualquier tipo de acción que no fuera por contacto entre las partes.

Así, a pesar de que la inclusión de la fuerza de gravedad puede considerarse la mayor innovación introducida en la filosofía natural de fines del siglo XVII, su asimilación fue consumada varios años más tarde, bajo muy diferentes criterios inteligibilidad y mediante de un cambio radical en lo que se consideraba una explicación aceptable en filosofía natural.

Metodología

Existe una importante disputa acerca de la metodología de Newton. La principal razón de esta disputa es que el propio Newton presenta puntos de vista explícitas tanto en sus *Principia* como en la *Opticks*, mientras que procede de forma no del todo acorde a estos preceptos al momento de la investigación concreta. Esta discrepancia entre metodología y método efectivo llevó a que varios intérpretes tuvieran puntos de vista disímiles respecto del programa metodológico de Newton. En este apartado presentaré algunas de los puntos de vista más destacados de este controvertido tema, aunque no propondré uno propio. Ello es debido que no poseo una interpretación alternativa a las existentes y a que la complejidad del tema ameritaría un estudio más profundo. Su mención en este capítulo es a los fines de mostrar interpretaciones contrapuestas de la posición metodológica de Newton y al hecho de que éstas muestran algunas de las divergencias señaladas en los aspectos parciales de mi noción de mecanicismo puro.

Antes de pasar a las interpretaciones mismas, ofrezco a continuación párrafos de la obra de Newton en donde el autor hace referencias explícitas a su método. Así en la *Query 31* de la *Opticks* Newton afirma:

Como en las matemáticas, en la filosofía natural la investigación de cosas difíciles por el método de análisis ha de preceder al método de composición. Este análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellos conclusiones generales por inducción y en no admitir otras objeciones en contra de estas conclusiones que aquellas salidas de experimentos u otras verdades ciertas, pues las hipótesis no pueden ser tenidas en cuenta en filosofía

experimental. Y, aunque la argumentación a partir de experimentos y observaciones por la inducción no constituyan una demostración de conclusiones generales, con todo, es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de cosas y ha de considerarse tanto más fuerte cuanto más general sea inducción. Y si ninguna excepción ocurre entre los fenómenos, la conclusión puede considerarse general. Pero si algún tiempo después surgiese alguna excepción de los experimentos, siempre es posible mantener la inducción comunicando conjuntamente esas tales excepciones. [Newton (1977): 349]

Esta primera etapa constituye el estadio de análisis, el cual nos permite

proceder de los compuestos a los ingredientes, y de los movimientos a las fuerzas que los producen; y en general, de los efectos a sus causas, y de las causas particulares a las más generales, hasta que el argumento acabe en la más general.

En cuanto a la síntesis, ésta

consiste en asumir las causas descubiertas y establecerlas como principios, y a partir de ellas explicar los fenómenos que se siguen, demostrando las explicaciones. [*Ibid.*: 349]

Newton declara que fue este método el que él utilizó en los dos primeros libros de su *Óptica*, el cual le permitió descubrir y demostrar diferencias relevantes en relación a la refrangibilidad, reflexibilidad y composición de rayos de luz, además de otras tantas propiedades.

También en los *Principia* Newton presenta una serie de consideraciones metodológicas bajo el rótulo de *Regulae Philosophandi*. Estas reglas establecen:

Regla I: En las cosas naturales no debemos admitir más causas que las verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos.

Regla II: Por consiguiente, debemos asignar —tanto como sea posible— las mismas causas a los mismos efectos.

Regla III: Las cualidades de los cuerpos que no admiten incremento o reducción, y que resultan pertenecer a todos los cuerpos dentro del campo de nuestros experimentos, deben considerarse cualidades universales de cualesquiera tipos de cuerpos.

Regla IV: En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de los fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzcan otros fenómenos capaces de hacer más precisas esas proposiciones o sujetas a excepciones [Newton (1993): 461-3].

Pasemos ahora a las interpretaciones. Según Losee, “Newton propuso y practicó dos teorías del procedimiento científico: el método de análisis y síntesis y un método axiomático.” [(1981): 99]. El método de análisis y síntesis sería un refinamiento de la teoría del procedimiento científico de Aristóteles con dos aspectos nuevos: primero, la necesidad de confirmación experimental de las consecuencias deducidas por síntesis y segundo el énfasis en deducir consecuencias que vayan más allá de los elementos de juicio inductivos originales. El experimento de Newton de la luz que pasa a través de un prisma es un ejemplo paradigmático de aplicación de su metodología. Un rayo de luz entra en una habitación oscura y pasa a través de un prisma, produciéndose el espectro correspondiente. De este hecho Newton infiere que la luz del Sol está compuesta por rayos de diferentes colores y que cada color es refractado por el prisma con un ángulo particular. De haber sido un inductivista

estricto, él habría concluido que todos los prismas, en circunstancias semejantes, producen espectros como los que él observó. Sin embargo Newton concluyó una proposición acerca de la naturaleza de la luz solar que va más allá de lo observado. En una segunda etapa Newton aplicó el método de síntesis para deducir nuevas consecuencias de su teoría de la luz. Una posible reconstrucción de su argumentación es la siguiente:

Premisa 1: la luz es una composición de rayos de diferentes colores

Premisa 2: cada color posee un ángulo de refracción característico

Conclusión: un rayo de luz de un color determinado que pase por un prisma se refractará según su ángulo de refracción y no se descompondrá en haces de otros colores.

Newton verificó esta conclusión a través de un experimento que realizó aislando un rayo de color rojo y haciéndolo pasar por un segundo prisma. Con este experimento Newton cumplía con el requisito de confirmación experimental de las consecuencias deducidas por síntesis.

Losee señala también que Newton siguió un método axiomático en los *Principia* y no el método inductivo de análisis. Existen tres etapas en este método: la primera etapa establece de un sistema axiomático, es decir de un conjunto de axiomas, definiciones y teoremas deductivamente organizado, la segunda especifica las reglas de correspondencia, es decir un procedimiento para correlacionar los teoremas con las observaciones, y la tercera etapa es la confirmación de las consecuencias deductivas del sistema axiomático empíricamente interpretado. Cada una de estas etapas corresponde a distintas partes de la obra: la primera etapa a las “Definiciones” y a los “Axiomas o leyes del movimiento”. La segunda etapa a los libros I y II, en tanto que la tercera a Libro III o “Sistema del Mundo”.

Según Losee, tanto el método de análisis y síntesis como el método axiomático comparten el objetivo común de la explicación y predicción de fenómenos. Pero es claro que si bien el método de análisis puede servir como método de descubrimiento, el método axiomático sólo puede ser un método expositivo, es decir un método para la organización y exposición del conocimiento.

En su análisis de la metodología newtoniana I. Bernard Cohen [(1983)] denomina ‘estilo newtoniano’ al método seguido por Newton en el establecimiento de las leyes del movimiento. Cohen advierte que muchos intérpretes del método newtoniano partieron de la exposición que de su propio método dio Newton en la *Optiks*, y que a partir de ella especularon que eso era aplicable a toda obra de Newton, incluyendo sus *Principia*. Así, Newton habría comenzado realizando experimentos y observaciones sobre el movimiento de cuerpos particulares y extrayendo de ellos conclusiones generales por inducción. Según este esquema, se ascendía desde los efectos a causas particulares y de éstas a las más generales, hasta que el argumento termine en “la más general de todas las causas, que no es mecánica”. El estadio de la síntesis consiste en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios para pasar a explicar a partir de éstas los fenómenos particulares.

Cohen niega que este método pueda haber creado una ciencia revolucionaria en el caso de Newton. Para este autor la innovación metodológica de Newton no consistió en una

presentación puramente deductiva de explicaciones de fenómenos naturales a partir de primeros principios o axiomas, sino en haber introducido las matemáticas en el estudio de la naturaleza de una manera novedosa y particularmente fructífera. La característica principal del “estilo newtoniano” es la posibilidad de elaborar las consecuencias matemáticas de las suposiciones relativas a posibles condiciones físicas, sin tener que discutir la realidad física de tales condiciones en las primeras etapas de la investigación. Se trataría de un intercambio entre la simplificación e idealización de las situaciones que se dan en la naturaleza y sus análogos en el dominio de la matemática. [Cohen (1983): III] El requisito adicional es la comprobación posterior de la concordancia entre los resultados matemáticos y los fenómenos observados, pudiéndose concluir de esta forma que el constructo describe realmente la realidad física.

A fin de ver como opera esta reconstrucción del método, consideremos los estudios newtonianos sobre el movimiento planetario. En éstos, Newton procede indagando las propiedades matemáticas de una fuerza capaz de producir la ley de áreas: demuestra que sobre un cuerpo en cierto estado de movimiento inercial, se moverá según la ley de áreas si y solamente si existe una fuerza centrípeta y dirigida constantemente hacia el punto respecto del cual se miden las áreas. Al demostrar que es suficiente y necesario que se den ambos fenómenos, Newton demuestra que una ley que describe matemáticamente los resultados observacionales es matemáticamente equivalente a un conjunto de condiciones causales de las fuerzas y movimientos. Otros casos abordados por Newton es sus *Principia* son igualmente interpretables bajo esta interpretación de Cohen.

William Harper y George Smith [(1995)] defienden una continuidad metodológica en los veinte años que transcurren entre sus primeras experimentaciones con luz y colores (1666, aproximadamente) y que culminan con los *Principia* (1687) Según estos autores, Newton ideó un nuevo método para establecer afirmaciones teóricas como hechos científicos. Este método estaba en contraste con otro que lo único que prometía era acumular evidencia a favor de hipótesis conjeturadas. Los autores analizan el desarrollo de este método desde los primeros experimentos con la luz y los colores a través de los esfuerzos iniciales que culminaron con los *Principia*, y los posteriores desarrollos que se inician a partir de esta obra. El nuevo método no apuntaba a ordenar la evidencia a favor de una hipótesis científica –como podría ser los movimientos copernicanos o keplerianos, sino que era un método que guiaba la investigación empírica.

Los autores señalan que Newton mantuvo a lo largo de toda su carrera científica la existencia de una distinción entre proposiciones firmemente establecidas por razonamiento a partir de experimentos y otras que él consideraba como mera conjeturas o hipótesis. A partir de dicho centro firme, su tarea consiste en elucidar primero, qué proposiciones pensaba Newton se podían establecer por este método, y segundo, cuál era el proceso por medio del cual se conseguía. En el trabajo, Harper y Smith analizan tres escritos metodológicos de Newton: las consideraciones metodológicas del escrito sobre la luz y los colores aparecido en la *Philosophical Transactions*, de 1672, el trabajo *De Motu* 1684, las *Regulae Philosophandi* de los *Principia*.

Ya en 1672 Newton señala una clara distinción entre afirmaciones establecidas

empíricamente y simples hipótesis. La distinción se basaba en el rol que otorgaba a los *experimentum crucis*, que en el caso de su teoría de la luz y los colores se trata del experimento de descomposición de la luz por medio de dos prismas. Dada la gran controversia que este experimento generó, Newton se vio obligado a explicitar el razonamiento subyacente, al tiempo que presentaba los primeros esbozos de su ‘filosofía experimental’. En una carta donde responde a las críticas de Huygens, Newton afirma:

Examinar de qué manera los colores pueden ser explicados hipotéticamente, está fuera de mi propósito. En ningún momento intenté mostrar en qué consiste la naturaleza y la diferencia de los colores, sino sólo mostrar que éstos son cualidades inmutables y originales de los rayos que los exhiben; y dejar para otros la explicación de la naturaleza y las diferencias de estas cualidades, por medio de hipótesis mecánicas, tarea que no considero dificultosa. [Citado en Harper & Smith (1995)].

La inferencia de consecuencias a partir de un *experimentum crucis* es una tarea que se debe realizar antes de ofrecer una hipótesis acerca de la naturaleza del fenómeno. Más aún, es el verdadero método a seguir en filosofía, ya que dado un fenómeno natural no es tarea difícil generar hipótesis que lo expliquen; más ardua es la tarea de decidir entre un conjunto de hipótesis mecánicas alternativas.

El breve escrito *De Motu* indica un nuevo estadio en el desarrollo de su método de investigación. En particular las conclusiones alcanzadas por Newton son diferentes en carácter, ya que éstas están influidas por los resultados de la mecánica, es decir que son proposiciones que “se derivarán de la observación y es este sentido son establecidas por experimentos; pero las inferencias están mediadas por los resultados teóricos derivados de los principios básicos de la mecánica.” [Harper y Smith (1995): 129]

Tiempo absoluto

Es en el “Escolio” que cierra las “Definiciones” de sus *Principia* donde Newton afirma “El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo fluye uniformemente, y se dice con otro nombre duración.” [*Principia*: definiciones]. A continuación distingue este tiempo absoluto de un tiempo “relativo, aparente y vulgar”, el cual es “alguna medida sensible y exterior de la *duración mediante el movimiento*, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo” [*Ibid.* itálicas mías]. Este es justamente el significado de términos tales como ‘hora’, ‘día’, ‘mes’, ‘año’, etc. Además de la distinción entre tiempo absoluto y relativo, Newton también incluye las distinciones entre espacio, lugar y movimiento absolutos y relativos, conformando cada uno de estos conceptos los pilares básicos sobre los que se asienta su filosofía natural.

Que Newton incluya explícitamente al “tiempo absoluto” como un elemento fundamental y primario de su filosofía natural suscita la pregunta de si una descripción atemporal de los *Principia* es en principio posible. Y una primera respuesta es que si tal versión fuera posible, la misma resultaría limitada a la hora de describir la mayoría –sino todos– los fenómenos que involucran movimiento. En particular, tal versión no permitiría distinguir entre un movimiento rectilíneo uniforme y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado que se produce en las

inmediaciones de un campo gravitatorio y esto resulta de ineluctable importancia para una teoría como la de los *Principia*.

Por otra parte, el hecho de que Newton introdujera las distinciones entre tiempo, espacio, lugar y movimiento absoluto y relativo le acarreó no pocas dificultades y críticas a su filosofía natural. Entre las dificultades, la más importante fue de tipo teológica e hizo que Newton se viera en la difícil tarea de justificar la existencia de entidades absolutas, infinitas y eternas que coexistían con la divinidad.¹⁰⁶ Otra dificultad fue de carácter metodológico y tuvo que ver con el hecho de que al asumir entidades que eran inaccesibles a la experiencia, Newton estaba rompiendo sus propias reglas metodológicas.¹⁰⁷

Conclusiones

Después de analizar la filosofía natural de Newton, resulta innegable el hecho de que este autor transformó la concepción tradicional de mecanicismo mediante la reintroducción de acciones a distancia. Que estas acciones a distancia no poseyeran las mismas deficiencias que las cualidades ocultas aristotélicas se debió en parte al genio de Newton en proponer un tratamiento matemático de dichas potencias, aplazando —aunque de ninguna manera evitando— la discusión en torno a su *status* ontológico.

Entonces sucedió que los filósofos mecanicistas del continente, sobre todo los contemporáneos de Newton, aún reconociendo la fuerza matemática de las demostraciones de los *Principia* se negaron a asumir la noción de una fuerza que actuaba a distancia. Pero a medida que el valor de dichas demostraciones fue ganando terreno, tanto los newtonianos ingleses (como Cotes o Pemberton) del mismo modo que sus discípulos continentales (como Voltaire o Gravesande), todos ellos asumieron a la fuerza de gravedad no como meras abstracciones matemáticas sino como fuerzas en sí mismas, fuerzas que de alguna manera pertenecían a la esencia de los cuerpos.

En relación con este último punto coincido con la opinión de Westfal cuando afirma que “Newton fue el único que reconoció que estaba proponiendo una reordenación fundamental de la filosofía natural y de este modo la filosofía mecánica progresó considerablemente después de que llegó a aceptarse que en el mundo existían principios activos, fuerzas y poderes que podían actuar a distancia y que resultaban inexplicables desde la tradición mecanicista clásica.” [Westfall (1990): 269] Así, la noción de mecanicismo puro —que para la época de Newton podría etiquetarse de ‘antiguo mecanicismo’— fue expandida por medio de una innovación filosófica fundamental, derivada de la “convicción de que la naturaleza no puede ser reducida a ordenamiento de partículas inertes de materia” [*Ibid.*].

¹⁰⁶ La crítica de Leibniz a este punto fue presentada en sus cartas a Clarke: cfr. Leibniz a Clarke, III, 2-6; IV 8 y ss; V 27-32, 36-65. Así como también Clarke a Leibniz II, 1; III, 2 y ss. IV, 13 y ss.

¹⁰⁷ Una crítica importante a este respecto fue la que hizo Mach en su *Desarrollo histórico crítico de la mecánica*, cfr. su [(1949): cap. II, § 6].

Finalmente, a pesar de que existen diversos aspectos de la filosofía natural de Newton cercanos tanto al núcleo central del mecanicismo puro como a los aspectos parciales de éste, las innovaciones que este autor introduce son suficientes para catalogar a su doctrina con un nombre propio y contraponerla de este modo al programa fuerte del mecanicismo puro.

PARTE III: ALGUNOS DESARROLLOS POSTERIORES DEL MECANICISMO

En los dos capítulos que componen esta tercera parte presentaré de modo muy general algunos de los desarrollos de la ciencia de la mecánica posteriores al siglo XVII. Para ser más exacto, presentaré algunos resultados de los algebristas franceses en el siglo XVIII y comentaré —también brevemente— el trabajo *Principios de la mecánica* de Hertz. Considero a este último trabajo como ejemplificador de la ‘actitud general’ asumida por la ciencia de la mecánica durante buena parte del siglo XIX.

Los temas presentados en estos dos capítulos tienden a mostrar de qué manera las discusiones ontológicas en torno a la noción de materia, o respecto del *status* de la fuerzas, fueron dando paso a una matematización a ultranza de la naturaleza. Este cambio en la forma de tratamiento de los problemas que involucran movimiento muestra cómo una de las consecuencias de mi noción de mecanicismo puro, la matematización de la naturaleza, se convirtió paulatinamente en la característica determinante de nuevas filosofías naturales que surgen con posterioridad a Newton.

Capítulo VIII: ASPECTOS DE LA MECÁNICA RACIONAL DEL SIGLO XVIII

Introducción

El siglo XVIII fue testigo de un intenso desarrollo de las matemáticas teóricas que permitieron un tratamiento sistemático de muchos de los problemas de mecánica celeste que quedaron sin resolver en la obra cumbre de Newton. En este capítulo me referiré a estos desarrollos de la mecánica racional y con este análisis pretendo mostrar de qué manera la ciencia de la mecánica fue transformando su lenguaje hasta convertirse en una disciplina puramente algebraica. La historia que aquí se narra muestra cómo los *escolios* con los que Newton intentaba ilustrar sus proposiciones y teoremas fueron dando paso a la aridez de las ecuaciones algebraicas que sólo remotamente parecían referir a movimientos de cuerpos en el espacio.

Asimismo se intentará mostrar en estos trazos históricos las discusiones acerca de la prioridad de los conceptos fundamentales en mecánica, es decir, acerca de si la masa o la fuerza debían ser las nociones básicas, fueron perdiendo terreno a medida que avanzaba el siglo, llegando a desaparecer por completo hacia el final del mismo.

La mecánica de las fuerzas puntuales de Euler

Contando sólo con 19 años, Euler proyectó un programa de mecánica dividido en seis partes. De éstas, tres fueron sistematizadas y publicadas y las tres restantes aparecieron en un gran número de publicaciones dispersas que realizó durante su prolífera carrera científica. El trabajo *Mechanica, sive motus scientia analytice exposita*, redactado hacia 1730 fue la primera entrega de este programa y puede considerarse el primer tratado de mecánica analítica. En este tratado, todos los problemas mecánicos se plantean y resuelven mediante procesos puramente matemáticos, hecho que permite afirmar que las leyes de la mecánica son verdades que se derivan necesariamente de primeros principios.

Euler precisó el concepto de masa que Newton había utilizado por lo menos de tres maneras diferentes. El término "masa" significó "masa puntual" y con él, Euler desarrolló la mayor parte de la dinámica de las masas puntuales.¹⁰⁸ Euler toma de la estática la noción de fuerza y extiende el principio de composición de fuerzas y las reglas de equivalencia a sus efectos dinámicos. Define la fuerza por la modificación en el movimiento de una partícula que la misma produce, y a la masa por la proporcionalidad entre las fuerzas necesarias para producir un efecto dado y las cantidades de materia. Euler se enmarca de este modo en la tradición que considera la fuerza como un concepto básico y a la masa como una noción derivada.¹⁰⁹

Euler fue el primero en estudiar la aceleración como una magnitud cinemática que se

¹⁰⁸El problema fundamental de la dinámica del punto es el siguiente: dada la resultante, $F=iX+jY+kZ$, de las fuerzas que actúan sobre un punto material de masa m , determinar su movimiento. O inversamente, dadas las condiciones iniciales de un cuerpo en movimiento y la tasa de cambio de dicho movimiento, hallar la fuerza que actúa sobre él.

¹⁰⁹En [Dugas (1988): 240-1] se expone un ejemplo del estilo de resolución de problemas propio de Euler.

presenta no sólo sobre trayectorias cónicas, sino sobre cualquier curva en general. Introduce además el concepto de vector como una magnitud dirigida y la emplea tanto en fuerzas como en magnitudes cinemáticas. Con esta entrega Euler consolida una parte muy pequeña de la mecánica racional, pero una parte importante que le permite extenderse a sistemas más complejos.

En 1760 publica *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum* en donde estudia todos los elementos del movimiento de un cuerpo rígido. Define a un sólido como un cuerpo en el que las distancias mutuas entre sus elementos se mantienen constantes. Distingue el centro de masa del centro de inercia y define la noción de momento de inercia. Al estudiar los movimientos de los cuerpos rígidos, distingue entre movimientos del centro de inercia y movimientos alrededor de dicho centro [Cfr. Dugas (1988): 277-8].

La obra de Euler puede considerarse como una síntesis notable de los programas científicos de Newton y Leibniz. Euler produjo su mecánica tomando las partes comunes de las mecánicas de aquellos autores, apartando las diferencias y refundiendo conceptos nuevos y fructíferos. El tratamiento matemático de los fenómenos que involucran movimientos constituyó un avance importante en el camino hacia una matematización completa de la naturaleza. En opinión de Truesdell, “ningún hombre, antes ni después de Euler logró jamás poner una gama tan amplia de física bajo el control de teorías matemáticas concretas, explícitas y definitivas como el lo hizo.”¹¹⁰

La dinámica de D'Alembert

En la introducción de su célebre *Traité de dynamique*¹¹¹ de 1743, D'Alembert expone el método de esta ciencia: “La mecánica racional, al igual que la geometría, ha de basarse en axiomas que sean obviamente verdaderos, [...] verdades posteriores han de obtenerse mediante demostraciones matemáticas de la manera más abstracta y sencilla posible”. Y poco más adelante señala:

...hasta la fecha se ha dado mayor importancia a engrandecer el edificio que a iluminar la entrada, a aumentar su altura que a fortalecer sus cimientos. En esta obra me he propuesto el doble fin de extender las fronteras de la ciencia de la mecánica y de allanar su camino, y mi objetivo principal ha sido alcanzar, en la medida que he podido, uno de estos fines a través del otro; esto es, no sólo deducir los principios de la mecánica a partir de las ideas más claras, sino también aplicar estos principios a nuevos problemas; poner de manifiesto la inutilidad de algunos de los principios hasta la fecha usados en Mecánica y las ventajas que se pueden sacar de otros; en una palabra, extender el alcance de estos principios reduciendo su número. [D'Alembert (1921): 15-7]

El párrafo anterior hace explícito los objetivos de la obra: depurar a la dinámica de los principios innecesarios, definir en forma precisa nociones poco precisas y aplicar los mismos principios a otros fenómenos naturales. Estos objetivos se lograrán sólo en parte.

¹¹⁰ [Truesdell (1975): 117].

¹¹¹ El título completo del libro es: *Tratado de dinámica, en el cual se reducen al menor número posible y se demuestran de una manera nueva las leyes del equilibrio y del movimiento de los cuerpos, dándose también un principio general para encontrar el movimiento de varios cuerpos que reaccionan arbitrariamente entre si.* Cfr. [D'Alembert (1921)].

Con esta obra, D'Alembert se enmarca en la tradición cartesiana que considera a la masa y a los conceptos cinemáticos como nociones fundamentales, reduciendo la fuerza generadora de aceleración a una noción derivada. El movimiento y la masa son fenómenos visibles, en tanto que las fuerzas, como causas del movimiento, son meras abstracciones. Una ciencia del movimiento verdadera debe evitar las entidades oscuras y metafísicas y considerar a la noción de fuerza como derivada de nociones más fundamentales.

D'Alembert refiere al 'problema primordial de la dinámica' como el siguiente:

Supongamos un sistema de cuerpos dispuestos de modo arbitrario; supongamos que se le comunica a cada uno de estos cuerpos un movimiento individual que no puede realizar a causa de la acción de los demás cuerpos: hallar el movimiento que realizará cada uno de estos cuerpos" [*Ibid.*: 80].

La solución que propone para este problema consiste en descomponer el movimiento en dos tipos, el movimiento que efectivamente realizarán los cuerpos (i.e., los movimientos buscados) y el causado por las interacciones mutuas. Las fuerzas correspondientes a las aceleraciones producidas por las *ligaduras* constituyen un sistema en equilibrio estático.

Continuando con una secuencia de abstracciones D'Alembert presenta el siguiente principio para un análisis general de casos donde intervienen fuerzas:

Descomponer los movimientos $a, b, c...$ comunicados a cada cuerpo en otros dos $a, \alpha; b, \beta; c, \delta...$ y que sean tales que si sólo se hubiera comunicado a los cuerpos los movimientos $a, b, c...$ habrían podido realizarlo sin obstaculizarse recíprocamente, y que si sólo se les hubiera comunicado los movimientos $\alpha, \beta, \delta...$ el sistema se habría quedado en reposo; está claro que $a, b, c...$ serán los movimientos que esos cuerpos realizarán en virtud de su acción. Que es lo que se buscaba. [*Ibid.*: 82-3]

Este principio puede considerarse como un patrón general para la resolución de problemas en dinámica, el cual presenta una doble ventaja: por un lado evita el análisis detallado de cada nuevo caso que se presente a la vez que permite aplicar experiencias generalmente frecuentes y conocidas. [Cfr. Mach (1949):293]

Lagrange y la mecánica analítica

La *Mécanique Analytique*¹¹² de Lagrange apareció publicada por primera vez en 1788. El propósito de la obra era realizar un tratado de ciencia racional (*analytice exposita*) que abarcara todos los campos de la mecánica: estática, hidrostática, dinámica e hidrodinámica. El autor afirma que su programa es completamente nuevo en tanto que en la obra se ha

...planteado la tarea de reducir tanto la teoría como el arte de resolver problemas concernientes a la ciencia [de la Mecánica] a fórmulas generales, de cuya simple aplicación se obtengan todas las ecuaciones necesarias para la solución de cada problema. ...[Intentando] reunir y presentar desde un mismo punto de vista, los diferentes principios hallados hasta ahora que han servido para la solución de problemas en Mecánica, mostrando su dependencia recíproca y poniéndolos a disposición de juzgar su validez y extensión...

En cuanto a las herramientas que el autor utilizará para lograr aquel objetivo, afirma:

¹¹²Cfr. [Lagrange (1815)].

No encontrarán figuras en esta obra. Los métodos que aquí expongo no requieren ni imágenes, ni razonamientos geométricos o mecánicos, sino tan sólo operaciones algebraicas sujetas a un progreso regular y uniforme. Los aficionados al análisis verán con placer cómo la Mecánica se convierte en una nueva rama del mismo y me agradecerán el haber ampliado así su dominio. [Lagrange (1815), *Avertissement*].

Según Lagrange, la dinámica tiene como objetivo analizar la variación de los movimientos producidos por fuerzas acelerativas o retardadoras. El autor sólo está interesado en las consideraciones formales de los problemas analizados, hecho que le lleva a alejarse de las disputas entre los defensores de la noción de fuerza y los abogados de la noción de masa (representados por Euler y D'Alembert, respectivamente). Lagrange sorteja los obstáculos de una y otra interpretación afirmando:

De la misma manera que el producto de la masa por la velocidad representa la fuerza finita de un cuerpo en movimiento, el producto de la masa y el poder acelerativo —que puede considerarse como el elemento velocidad dividido por el elemento tiempo— representará una fuerza creciente. Si esta última cantidad se considera como la medida del efecto que un cuerpo puede ejercer en función de la velocidad que ha adquirido o va a adquirir, constituye lo que yo denomino *presión*; pero si se considera como medida de la fuerza o poder necesario [causa] para impartir esta misma velocidad, se llama *fuerza motriz*. [*Ibid.*]

El objetivo de Lagrange es conseguir una definición única para la fuerza, intentando mostrar que tanto la noción cartesiana como la newtoniana comparten rasgos comunes. Un cuerpo en movimiento tiene cierto poder de acción o resistencia en proporción a su masa y su velocidad. Este es el concepto cartesiano de fuerza. Pero ese poder también puede variar en la medida en que varía su velocidad. Si disminuye o aumenta, y se considera a la tasa de disminución o aumento por la masa como medida del efecto de otras fuerzas aplicadas, el producto es la medida de una presión que se ejerce sobre el cuerpo. Si al mismo producto se lo considera como medida de una causa que produce la variación, el producto mencionado es la medida de una fuerza motriz que aplicada al cuerpo produce esa variación. Lagrange tampoco se ocupa de la dinámica del punto que considera resuelta por sus predecesores, y concentra todos sus esfuerzos en la formulación más general de la dinámica de los sistemas. Analiza sucesivamente cuatro principios que habían sido utilizados en dinámica.¹¹³

Truesdell refiere a esta obra en los siguientes términos: “Al final del siglo XVIII existía la lamentable tendencia de huir de los problemas básicos de concepto, tanto en mecánica como en análisis matemático. La propensión formalística, tan contraria a la tradición iniciada por Jaime Bernoulli y Euler, se extendió rápidamente por la escuela

¹¹³Los cuatro principios son: *conservación de las fuerzas vivas* (el incremento de la energía cinética de un sistema, es igual a la suma de los trabajos de todas las fuerzas (interiores y exteriores) que obran sobre él), *conservación del movimiento del centro de gravedad* (el centro de gravedad de un sistema se mueve como un punto material de masa igual a la masa total del sistema, impulsado por la resultante de las fuerzas que actúan sobre éste), *conservación de los momentos o principio de áreas* (la suma de los productos de las masas de los puntos del sistema por las áreas descritas por los radios vectores de sus proyecciones sobre el plano normal al eje respecto al cual es nulo el momento de las fuerzas, es proporcional al tiempo) y *principio de la mínima cantidad de acción* (la Naturaleza en la producción de sus efectos actúa siempre por los medios más simples o, dicho de otra manera, la cantidad de acción, que es el producto de la masa por la velocidad y el camino recorrido, es siempre un mínimo. Este mismo principio ya había sido explicitado por Maupertuis. [Cfr. su (1985): 95]

francesa y, por supuesto se refleja en la *Mécanique Analytique*". Es justamente esta impronta formalista la que evita que se ofrezcan soluciones para cuestiones tales como el flujo de fluidos en tubos, el problema de la cuerda vibrante, los problemas de teoría de la elasticidad, etc. Todos estas cuestiones sí fueron tratadas por la generación anterior a Lagrange.

Laplace y la mecánica celeste

La astronomía de los siglos XVIII y XIX estuvo enmarcada dentro del programa de investigación iniciado por Newton. Los problemas matemáticos que quedaron por resolver —además de los problemas nuevos que iban surgiendo— conformaron la disciplina que hoy conocemos como 'mecánica celeste clásica'. El perfeccionamiento en el instrumental de observación favoreció el escudriñamiento del cielo, fortaleciendo la tradición de la astronomía de posición. A pesar de todo, los astrónomos continuaron interesados en los cuerpos del sistema solar y sólo unas pocas descripciones de los fenómenos estelares vieron la luz durante el siglo XVIII.

Con la publicación de la *Mécanique Céleste* en 1799, se produce el coronamiento de la teoría newtoniana de la gravitación. En esta obra Laplace demuestra que las perturbaciones observadas en el sistema solar son periódicas, de lo que resulta un sistema solar estable que no precisa de intervención divina alguna.

Laplace comparte con Newton la noción de la fuerza como impulsos que actúan de forma continua. En el comienzo de la obra este autor afirma:

Supongamos que el intervalo de tiempo que separa dos acciones de alguna fuerza es igual a dt . Resulta claro que la acción instantánea de la fuerza debe ser proporcional a la intensidad y al tiempo en el que actúa. De esta forma, si representamos a la intensidad por P , se debe suponer que al comienzo de cada instante dt actúa sobre la partícula una fuerza $P dt$ y que la misma es movida uniformemente durante ese instante. [Laplace (1878): 19]

Al considerar a las fuerzas en términos de velocidades, Laplace se inscribe en la misma tradición que D'Alembert.

Creo importante destacar del trabajo de Lagrange la utilización del principio de mínima acción. Este es cuarto principio de su mecánica y afirma que la cantidad de acción, considerada como es el producto de la masa por la velocidad y el camino recorrido, es siempre un mínimo.¹¹⁴ Este principio dio lugar a mucha controversia desde su aparición debido a que se lo ha relacionado con la reintroducción de causas finales en ciencia.

Según Lagrange, no sólo fue Maupertuis quien enunció este principio por primera vez,¹¹⁵ sino que además dedujo de él las leyes de refracción y reflexión de la luz y ciertas leyes de choque. Del mismo modo Lagrange señala cierta vaguedad y arbitrariedad en la formulación y uso que Maupertuis hizo de este principio y afirma que sólo es posible utilizarlo si se lo enuncia de forma más rigurosa. Una alternativa

¹¹⁴ "La suma de los productos de las masas con las integrales de las velocidades, cada una de las cuales viene multiplicada por el elemento de la distancia recorrida, es invariablemente un máximo o un mínimo." [Lagrange (1881): 230].

¹¹⁵"La Naturaleza en la producción de sus efectos actúa siempre por los medios más simples" [Maupertuis (1985):95]

más precisa de este principio se encuentra en un trabajo de Euler de 1744, quien demuestra que en las trayectorias descritas bajo la acción de fuerzas centrales, la integral de la velocidad multiplicada por el elemento de la curva es siempre un mínimo o un máximo.

Conclusión

El brevísimo análisis de la mecánica del siglo XVIII presentado en este capítulo muestra con suficiente claridad las importantes diferencias que existen en las discusiones en torno a la noción de materia y fuerza, y al *status* mismo de la ciencia de la mecánica. Se evidencia claramente que en una parte importante de los casos se asume la existencia de fuerzas a distancia, y que las discusiones en torno a la descripción algebraica de los movimientos cobran mayor preeminencia.

Estos hechos me sugieren si bien varias de las intuiciones en torno al mecanicismo puro mantienen su vigencia, las divergencias respecto de aquella noción son lo suficientemente marcadas como para afirmar que se asiste a un cambio radical de punto de vista. Desarrollaré esta idea en las conclusiones generales de esta tesis.

Capítulo IX: LOS "PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA" DE HERTZ

Introducción

En una primera aproximación, *Los Principios de la mecánica* de Hertz aparecen como una consumación del mecanicismo puro. Y esta consumación tiene dos aspectos: por una parte, Hertz postula únicamente masas –puntos materiales—en movimiento, ligadas entre sí por vínculos; y por otra, logra una total matematización de los fenómenos mecánicos al expresar los desplazamientos de partículas exclusivamente en términos de relaciones algebraicas. Pero si esto ocurre en una primera aproximación, un análisis más minucioso muestra otros aspectos de esta obra que se contraponen a la noción de mecanicismo puro.

A fin de ofrecer evidencia para la anterior afirmación, en este capítulo expongo, en primer lugar, algunos aspectos del trabajo de Hertz y a continuación analizo esta exposición a la luz de la versión teórica de mecanicismo puro.

La mecánica

Hertz comienza *Los principios de la mecánica* afirmando que

“el fin más inmediato y, en cierto sentido, más importante que nuestro conocimiento reflexivo de la naturaleza debe permitirnos es *la previsión de los eventos futuros*, de manera tal que podamos disponer de nuestros hechos presentes de acuerdo con aquella previsión.” [Hertz (1956): 1]

Para lograr dicho fin, los hombres “construyen imágenes o símbolos de los objetos externos”. Estas imágenes deben ser tales que “las consecuencias lógicas de la imagen en el pensamiento sean a su vez imágenes de las consecuencias naturales de los objetos representados” [Ibid.]. Estas imágenes no deben considerarse como fiel reflejo del mundo real, es decir que no se trata de una “concordancia del tipo que se da entre un cuadro y el objeto que el cuadro representa”. La única concordancia que es esperable en estos casos es aquella que nos permita hacer predicciones, “predicciones tales que las consecuencias lógicas de las imágenes acuerden con las consecuencias empíricamente observables de los fenómenos para los que fueron creadas”. Que este objetivo sea alcanzable lo prueba la gran variedad de conocimientos producidos por el hombre.

Dado que la variedad de imágenes posibles es muy grande, Hertz especifica tres criterios por medio de los cuales seleccionar las imágenes ‘científicas’ de los objetos externos: *coherencia lógica*, *adecuación empírica* y *simplicidad*. Exigiendo coherencia lógica, evita las imágenes que encierran contradicción con las leyes del pensamiento; el requisito de adecuación empírica permite rechazar como inadecuadas las imágenes que no coincidan con las propiedades de los objetos externos; y el requisito de simplicidad permite elegir entre dos o más imágenes alternativas, a aquella que excluya el mayor número de propiedades superfluas.

El punto anterior es ilustrado por medio de las teorías electromagnéticas. En su *Electrical Waves* Hertz afirma que las teorías eléctricas de Maxwell, Helmholtz y otros científicos tienen todas el mismo significado interno en el sentido de que todas ellas conducen a las mismas ecuaciones. De allí que si un científico tenga preferencia

por una en vez de otra, pueda deberse a que algunas 'imágenes' son "más apropiadas" o "más simples" o "más representativas" que otras. Según Hertz, cualquier imagen tiene algún elemento indeseable para el fin para la cual fue construida, de la misma forma en que un mapa tiene características dadas por el papel sobre el que fue impreso y no por la misma región que representa. Ahora bien, cuantas menos rasgos superfluos una imagen posea, mejor representará al fenómeno en cuestión. Este último es el caso de la teoría de las ondas eléctricas del propio Hertz. Afirma que su teoría electromagnética era preferible a la de Maxwell, aunque de ninguna manera podía considerarse como 'correcta' o 'verdadera'.

Esto mismo ocurre en el caso de su teoría mecánica. Hertz presenta una exposición crítica de dos de las formulaciones más importantes de la ciencia de la mecánica: la mecánica clásica —iniciada por figuras como las de Arquímedes, Galileo, Newton y Lagrange— está basada en los conceptos de 'espacio', 'tiempo', 'fuerza' y 'masa'. Según esta imagen, la fuerza es una entidad independientemente del movimiento, cuya magnitud es proporcional —tanto en valor absoluto como en dirección— a la variación de la velocidad propia de una masa cualquiera. Por otro lado, la tercera ley de Newton afirma la existencia de fuerzas asociadas a masas en movimiento. Con lo cual tendríamos dos definiciones distintas de fuerza: una según la cual es causa del movimiento y otra definida como consecuencia del movimiento. El autor ilustra este punto mediante el siguiente ejemplo:

Hacemos girar una piedra atada al final de una soga y al hacerlo somos conscientes de estar ejerciendo una fuerza sobre la piedra. Esta fuerza desvía constantemente a la piedra de su trayectoria rectilínea. Si variamos la fuerza, la masa de la piedra o la longitud de la soga, encontramos que el movimiento real de la piedra es conforme a la segunda ley de Newton. Pero por otra parte, la tercera ley afirma la existencia de una fuerza opuesta a la fuerza ejercida por la mano sobre la piedra. En relación con esta fuerza opuesta la explicación usual es que la piedra reacciona contrarrestando la acción de la mano en razón de la fuerza centrífuga que es idéntica en magnitud y opuesta en sentido. ¿Pero, es permisible este modo de expresión? ¿Es aquello que llamamos fuerza centrífuga algo diferente de la inercia de la piedra? ¿Es posible conservar la claridad de los conceptos y a la vez considerar el efecto de la inercia desde dos puntos de vista distintos, primero como masa, segundo como fuerza? En nuestras leyes del movimiento, la fuerza era la causa del movimiento y estaba presente antes del movimiento. ¿Es posible, sin ser confusos, comenzar a hablar de repente de fuerzas que surgen a partir del movimiento, que son consecuencias del movimiento? Estas preguntas deben ser respondidas de forma negativa. [Hertz (1956): 5-6].

Así, la imagen del movimiento presentada por la mecánica clásica incurre claramente en una incoherencia lógica. Otra imagen alternativa de la ciencia de la mecánica es la 'energética'. Este sistema se construye a partir de los conceptos de 'espacio', 'tiempo', 'masa' y 'energía' más el principio de conservación de la energía. Las críticas de Hertz a esta ordenación se refieren sobre todo a la definición misma de energía potencial, pues en tanto que la energía cinética es perfectamente definible en base a los cuatro conceptos admitidos, en la definición de energía potencial se debe tener en cuenta la relación con otras masas que quizás no tengan ninguna influencia sobre el sistema. Si bien esta imagen puede ser más conveniente (en el sentido hertziano del término) que la primera, presenta de igual modo falencias lógicas y empíricas.

Fue este tipo de cuestiones las que indujeron a Hertz a formular una nueva ciencia de la mecánica. Su formulación permite desarrollar un sistema deductivo riguroso en el

que los teoremas se corresponden con las leyes fundamentales de la mecánica. Los conceptos utilizados son 'espacio', 'tiempo' y 'masa'. Éstos son suficientes para dar cuenta de todos los fenómenos que involucran movimientos, con la salvedad de que, además de las masas visibles, se debe asumir la existencia de otro conjunto de masas, que obedecen a las mismas leyes que las anteriores, pero que no son observables. Este artificio evita utilizar conceptos como los de 'fuerza' o 'energía', obteniéndose igualmente un universo sujeto a leyes pero con un mínimo de entidades.

La reconstrucción de la mecánica según este punto de vista consta de dos partes. El *Libro primero* contiene un conjunto de conceptos y axiomas formulados de un modo hipotético:

El contenido del primer libro es completamente independiente de la experiencia. Todas las proposiciones son juicios *a priori* en el sentido kantiano. Se basan en las leyes de la intuición interna y en las formas lógicas de quien las formula; no tiene con la experiencia externa, ninguna otra relación que la que tienen estas mismas intuiciones y formas entre si. [Hertz (1956): 45].

En este primer libro no sólo se acepta la posibilidad de una física teórica, sino que se la construye como una prefiguración o condición de posibilidad de eventuales experiencias, a partir de los conceptos de 'tiempo', 'espacio' y 'masa'.

En el *Libro segundo* Hertz introduce el correlato empírico de los conceptos definidos *a priori*. Al concepto 'tiempo' le hace corresponder lapsos temporales definidos, es decir, un número de unidades arbitrarias y constantes de duración (como es el caso del período de un péndulo que oscila). A los 'puntos materiales' y 'sistemas de puntos materiales', le corresponden masas concretas de la experiencia. Introduce inmediatamente un único principio tomado de la experiencia, que es una combinación del principio de inercia y el principio de la constricción mínima de Gauss. El principio afirma que:

las masas de un sistema, de acuerdo a sus vínculos, se mueven en una trayectoria lo más rectilínea posible. Toda desviación del movimiento de una masa, respecto al movimiento rectilíneo y uniforme es consecuencia de un vínculo con otras masas. [Ibid.: cap. II]

La propiedad distintiva de proposiciones de este libro es que satisfacen tanto las exigencias de las leyes del pensamiento como las demandas de la experiencia.

De esta manera construye Hertz un sistema de mecánica que es incuestionable en cuanto a coherencia lógica, adecuación empírica y simplicidad; pero que es al mismo tiempo un sistema poco eficaz en la resolución de problemas particulares.

El trabajo de Hertz desde la perspectiva del mecanicismo puro

A modo de primera aproximación se conjeturó que esta obra se acerca a la noción de mecanicismo puro en el sentido de que sólo asume la existencia de masas que interactúan por medio de vínculos. Pero una análisis más profundo muestra que desde ningún punto de vista Hertz está asumiendo compromisos ontológicos con estas nociones. Por lo tanto no es posible interpretar su trabajo dentro de la línea del mecanicismo puro, ya no debemos pensar que Hertz esté ofreciendo un sistema que pretenda describir los cimientos básicos a partir de los cuales se producen todos los fenómenos naturales.

Esta hipótesis está en armonía con un conjunto importante de hechos históricos. En primer lugar, el trabajo de Hertz contribuyó a una revisión de lo que tradicionalmente se entendía por 'principio'. Según la física clásica, un principio es una proposición autoevidente e indemostrable a partir del cual es posible deducir otras proposiciones que describen fenómenos naturales. Un mirada a la historia de la mecánica nos muestra que proposiciones muy diferentes fueron consideradas principios de distintas teorías mecánicas. Del propio análisis de Hertz se sigue que diferentes principios producen diferentes tipos de mecánica, cada una de las cuales es conveniente para ciertos fines. Así la mecánica newtoniana es conveniente para la resolución de problemas prácticos, de la misma forma que la energética ha mostrado ser fructífera en la explicación de fenómenos físicos de otras disciplinas. La imagen hertziana de la mecánica es perfectamente rigurosa desde el punto de vista lógico, además de ser parsimoniosa respecto de las entidades presupuestas. No obstante estas virtudes, la mecánica de Hertz no es más que una hipótesis física, de la que sólo podemos evaluar su grado de adecuación empírica mas no decidir acerca de su verdad o falsedad. Este punto de vista invalida todo intento de construcción de una imagen de mundo que refleje la realidad en sus más íntimos detalles.

En el mismo sentido deben evaluarse los resultados experimentales alcanzados por este autor. Recordemos que Hertz consiguió producir experimentalmente las ondas electromagnéticas predichas por la teoría de Maxwell, demostrando que éstas poseen las mismas propiedades conocidas de la luz, tales como la reflexión, la refracción y la interferencia. Con este descubrimiento Hertz resolvió la controversia entre los corpuscularistas y los defensores de teorías ondulatorias, permitiendo el afianzamiento de la teoría electromagnética de la luz. Según esta teoría, la diferencia entre ondas eléctricas, ópticas y térmicas reside en su longitud de onda.

Estos últimos hechos desencadenaron en su tiempo la necesidad de una nueva fundamentación epistemológica del fin y objeto de la física. Pero al mismo tiempo, la considerable disminución de compromisos ontológicos y la relativización del *status* de la mecánica permitieron el surgimiento de formulaciones alternativas de esta ciencia.

CONCLUSIONES GENERALES

Que el mecanicismo, la filosofía mecánica o la concepción mecánica de la naturaleza sea una doctrina caracterizada de modos muy diversos, es un hecho que creo haber establecido con suficiente evidencia. Las diversas caracterizaciones que aparecen en la literatura secundaria es una prueba clara de este hecho, pero también lo es cualquier análisis simple que se haga de las filosofías naturales de los ‘actores mecanicistas’ del siglo XVII. Fue así que la falta de un acuerdo mínimo acerca de qué sea ‘mecanicismo’ se constituyó en la principal motivación que me colocó en el camino de intentar una elucidación de esta doctrina que juzgo como más adecuada. Y fue la tarea de reconstruir esta filosofía a partir de una noción teórica que llamé ‘mecanicismo puro’ la respuesta más satisfactoria a aquel estímulo.

Esta noción teórica de mecanicismo posee ciertas ventajas respecto de sus rivales. La más importante de es el hecho de que muestra cierta sistematicidad respecto de tópicos tan diversos como la distinción entre cualidades primarias y secundarias, la utilización de modelos mecánicos en la explicación de los fenómenos de la naturaleza o la matematización de la naturaleza, por sólo nombrar algunos de ellos. Hasta donde alcanza mi conocimiento de la literatura existente sobre este tema, ninguna de aquellas reconstrucciones muestran la íntima relación que existe entre un amplio conjunto de nociones tradicionalmente tratados en torno al tema del mecanicismo. Desde esta perspectiva, el enfoque teórico desarrollado en la parte I de esta tesis presenta, en mi opinión, cierta originalidad.

En cuanto a la cuestión historiográfica de justificar la elección de este esquema teórico, cito a continuación un párrafo de Peter Machamer que aparece en el comienzo de esta tesis y que da indicios de las razones que me indujeron a elegirlo. Afirma este autor:

Las categorías utilizadas por los historiadores en sus debates no son las categorías de los autores. Son categorías estructurales anacrónicamente impuestas, construidas con el fin de ordenar la complejidad. En la mayoría de los casos, el orden impuesto se relaciona con la visión del historiador respecto de la esencia misma de la ciencia moderna. [Machamer (1998): 71]

Quizás fundado en el prejuicio de que existe más racionalidad de la que habitualmente se presenta en las historias de la filosofía y de la ciencia, o quizás guiado por un sentimiento personal de conciliación y armonía, el esquema de mecanicismo puro surgió como un intento de imponer cierto orden al cúmulo de datos propios de la historia de la filosofía y la ciencia. Tengo la convicción de que un grupo importante de filósofos naturales del siglo XVII fueron guiados en sus trabajos científicos y de sistematización filosófica por un conjunto de intuiciones comunes entre las que pueden mencionarse:

- a. Una ontología básica que sólo admitía —para el reino natural— un único tipo de materia.
- b. La existencia de un conjunto conciso de propiedades elementales de esa materia y el axioma de que cualquier otra propiedad se reducía a (y, por lo tanto, se

- explicaba por) dichas propiedades.
- c. El axioma que proscribiera cualquier otra interacción entre los cuerpos que no sea mediante el contacto directo entre ellos.
 - d. La existencia de un único conjunto de propiedades válido para toda la naturaleza, que asuma la validez de los axiomas anteriores.
 - e. Un modelo de inteligibilidad inspirado en la descripción del funcionamiento de máquinas ideales.
 - f. Un ideal de ciencia demostrativa para el reino natural con un grado de certeza similar al de las matemáticas.
 - g. Una noción de progreso en el conocimiento inferido de la convicción de lograr una predicción cada vez mayor –y de mayor precisión—de los fenómenos naturales.

Sin ser exhaustiva, la lista refleja un conjunto importante de intuiciones propias de varios filósofos naturales del siglo XVII, intuiciones con las que crearon complejos sistemas de filosofía y con la que abordaron un sinnúmero de problemas particulares. Fue la percepción de que éstas –y otras intuiciones relacionadas—guardaban lazos de dependencia entre sí, la razón básica que me llevó a proponer la noción de mecanicismo puro.

En la segunda parte de esta tesis apliqué esta noción teórica a un conjunto de autores del siglo XVII. El objetivo de esta parte fue múltiple. Por un lado, mostrar la plausibilidad de esta noción de mecanicismo para reconstruir un conjunto de filosofías naturales del siglo XVII de manera tal que los tópicos antes mencionados aparezcan interrelacionados. Por otro lado, determinar el grado de aproximación de aquellas doctrinas a esta noción teórica. Y por último, presentar un paisaje acotado –aunque representativo—de la filosofía natural del siglo XVII.

Como expresé oportunamente, la noción de mecanicismo puro sirve para reconstruir cualquier filosofía natural de cualquier período de la historia, aunque su utilidad es más patente en torno a un grupo importante de filósofos naturales del siglo XVII. Son justamente las conclusiones parciales de los capítulos correspondientes a la segunda parte las que resumo a continuación. Emprendo esta tarea con el objetivo de presentar un paisaje sucinto del mecanicismo en este período.

El mecanicismo del siglo XVII a la luz del mecanicismo puro

Dado que mi noción de mecanicismo puro estuvo fuertemente influenciada por la doctrina cartesiana, su filosofía natural reconstruida a la luz de este esquema aparece como la más cercana a aquella noción. Descartes no sólo presentó una teoría de la materia definida y precisa, sino que –y más importante aún—formuló un conjunto de leyes mecánicas válidas en principio para cuerpos de cualquier magnitud y en las que sólo se asumen las propiedades de forma, tamaño, grados de movimiento e impenetrabilidad, es decir, las propiedades mecánicas de la materia. A pesar de ello, la misma reconstrucción muestra un conjunto de puntos en los que Descartes no llevó hasta sus últimas consecuencias este ideal mecanicista. Una de estas ‘impurezas’ fue el hecho de que no procuró una explicación cuantitativa de los fenómenos

corpúsculares y que a este nivel sus trabajos presentan sólo descripciones cualitativas. Recordemos las explicaciones este tipo que ofrece Descartes de fenómenos tales como la atracción magnética, la formación de los vidrios y la atracción gravitatoria.

El caso de Galileo resulta particular desde muchos puntos de vista. No por ser un autor sistemático que presente una doctrina única y acabada, sino por haber asumido un conjunto importante de estas intuiciones en la resolución de problemas concretos y capitales para la época. En este sentido, Galileo contribuyó de manera notable al establecimiento y difusión de esta nueva doctrina.

No menos difusión e impulso le dio Boyle a esta filosofía. Son múltiples pasajes de su obra donde el autor califica a la “hipótesis mecánica” como “verdadera”, “inteligible”, “evidente en si mismas” e “innovadora”, al tiempo que abundan argumentos tendientes a desacreditar las explicaciones de las filosofías rivales. Pero a pesar de la “excelencia” de las explicaciones mecánicas, también he mostrado que este autor dio cierta preeminencia de la filosofía experimental y ello en detrimento de la reducción de algunos fenómenos naturales a los mecanismos básicos que los causaban. Es en este sentido que deben interpretarse sus vacilaciones que “leyes magnéticas”, “leyes químicas” o “las conocidas leyes de la hidrostática” alcancen una completa reducción a leyes estrictamente mecánicas y este hecho aparece como la principal desviación de mi noción de mecanicismo puro. Por otra parte, el ‘experimento’ de las bolas de billar¹¹⁶ que se mueven de acuerdo a leyes estrictamente mecánicas y que cumplen al mismo tiempo los designios de su creador se constituye en un argumento que apoya la compatibilidad de la causalidad final defendida por Boyle y un mecanicismo estricto.

También expresé oportunamente que la noción de Locke de una “ciencia perfecta de los cuerpos naturales”, junto con su concepción de un conocimiento de la naturaleza con una certeza idéntica a la que se logra en matemáticas, fueron elementos asumidos en la conformación de mi noción de mecanicismo puro. A pesar de ello, Locke no puede ser considerado un mecanicista puro y ello sobre la base de que niega la posibilidad concreta de realizar este ideal. En este sentido, ambos, mi reconsideración de su ideal de ciencia natural y mi análisis de la reducción de las ‘propiedades enigmáticas’ a las determinaciones mecánicas de la materia, fueron intentos de examinar hasta que punto su filosofía permite modificaciones tendientes a purgar estas ‘impurezas’. Estos análisis me permitieron concluir que fueron justamente aquellas propiedades que Locke consideró como no derivadas de las propiedades mecánicas de la materia —o sobreañadidas a la materia— las mismas propiedades que propulsaron la mayor innovación dentro de la concepción mecánica de naturaleza. Es en este contexto en que la figura de Newton aparece como ineludible.

Newton puede ser considerado como uno de los primeros filósofos naturales que entrevió la necesidad de extender la noción de substancia material más allá de los estrechos límites impuestos por la tradición.¹¹⁷ Su actitud vacilante respecto de la

¹¹⁶ Presentado en las conclusiones al capítulo de Boyle.

noción de fuerza debe ser entendida en el marco de la fuerte influencia ejercida por el antiguo mecanicismo, y la modelización del sistema de mundo propuesta en sus *Principia* una creación metodológica importantísima para justificar una innovación de tal magnitud.

Tanto el análisis de las ‘propiedades enigmáticas’ en Locke como la discusión en torno al *status* ontológico de la gravedad del capítulo de Newton evidencian el tipo de problemas que enfrentaron los defensores de un mecanicismo puro. Newton intentó ofrecer respuestas a estos problemas mediante el tratamiento matemático de las fuerzas a distancia. Pero en su solución asumió la existencia de un nuevo tipo de entidad que resultaba incompatible con los preceptos del mecanicismo puro. Es por esto que considero que sus innovadoras soluciones son suficientes para distinguir a su doctrina del programa fuerte del mecanicismo puro y calificarlas con un nombre propio.

Una mirada en conjunto de todos los autores de mi limitada reconstrucción del mecanicismo del siglo XVII resulta suficiente para mostrar la metamorfosis desde una teoría de la materia inerte hasta una teoría dinámica de la materia que forzosamente incorpora entre sus elementos básicos justamente aquellas entidades cuya emergencia no le fue posible explicar a su predecesora. Estas fuerzas a distancia que coexistían con la materia inerte del mecanicismo puro se fue erigiendo paulatinamente en un nuevo programa de investigación que invadió buena parte del siglo XVIII (y ello en detrimento de la inteligibilidad que se reconocían a la original hipótesis mecánica). En los dos últimos capítulos de esta tesis he presentado indicios de la marcha posterior de la nueva teoría dinámica de la materia. Estos capítulos muestran que aquellas acaloradas disputas ontológicas fueron acalladas por el formalismo algebraico del siglo XVIII y desapareciendo considerablemente durante el siglo XIX. Estas breves consideraciones en torno al desarrollo posterior de la ciencia de la mecánica me permiten sacar a la luz una omisión frecuente en la bibliografía secundaria que aborda el tema del mecanicismo. Dicha omisión consiste en la falta de explicitación de los elementos básicos que se presuponen en la ontología o teoría de la materia que se señala como ‘mecanicista’. Desarrollo este punto en el siguiente apartado.

Tres versiones de mecanicismo

Mi reconstrucción del mecanicismo a la luz de la noción teórica de mecanicismo puro —focalizado mayormente en el siglo XVII y con incursiones mínimas en los siglos XVIII y XIX— me permite conjeturar la existencia de tres tipos de mecanicismos en este largo período. Por razones de simplicidad y conveniencia los llamaré ‘mecanicismo₁’, ‘mecanicismo₂’ y ‘mecanicismo₃’.

‘Mecanicismo₁’ refiere a la aceptación de una teoría de la materia que afirma la existencia de una única e idéntica substancia material en el mundo, la cual posee únicamente determinaciones mecánicas, esto es, forma, tamaño, movimiento/reposo, e impenetrabilidad o solidez. Básicamente esta es la idea subyacente al mecanicismo puro.

Mecanicismo₂ refiere a una doctrina que asume la validez de la teoría mecánica de Newton en conjunción con la aceptación de una teoría dinámica de la materia. Esta

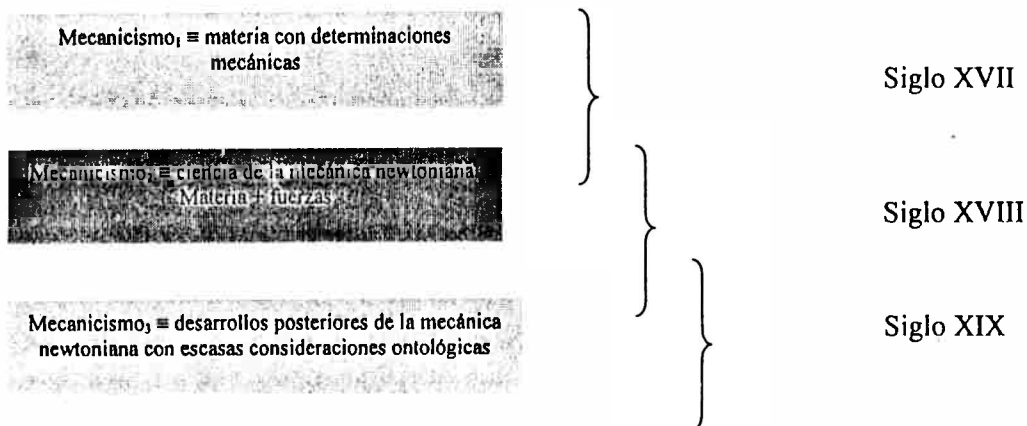
teoría dinámica incluye entre sus elementos básicos los corpúsculos de materia con las anteriores determinaciones, más la existencia de fuerzas a distancia. Este segundo sentido del término ‘mecanicismo’ es el que asume Robert Schofield en su importante trabajo *Mechanism and Materialism*. Afirma este autor:

A partir de la corpuscularidad dinámica de los primeros *Principia* y de las dos primeras ediciones de la *Opticks*, que históricamente evolucionaron a partir de la filosofía mecánica del siglo XVII, proviene la convicción de los mecanicistas de que la causa de todos los fenómenos de la naturaleza debía ser buscada en última instancia en las partículas primarias de una materia indiferenciada, en los diferentes tamaños y formas de las combinaciones posibles de estas partículas, en sus movimientos, y en las fuerzas de atracción y repulsión entre ellas, las cuales determinan aquellos movimientos. [Schofield (1970): 15].

También en este mismo sentido debe ser entendida la expresión ‘concepción mecánica del mundo’ cuando se utiliza para hacer referencia al descubrimiento de que un conjunto importante de fenómenos naturales se regía de acuerdo a la ley de la inversa del cuadrado de la distancia válida para la gravedad. Cuando se comprobó que esta misma relación matemática gobernaba la atracción de dos masas cargadas con electricidad y que lo mismo sucedía con cargas magnéticas, no se dudó en considerar a estos hallazgos como reivindicativos del paradigma mecanicista en el segundo sentido del término.

Por último, mecanicismo₃ refiere a una doctrina que asume la validez de la teoría mecánica de Newton o algún desarrollo posterior de dicha teoría pero sin la aceptación de alguna ontología definida. El continuado progreso del proceso de matematización (algebrización) de la naturaleza trajo como consecuencia una declinación de las discusiones ontológicas suscitadas por la incorporación de la noción de fuerza. A medida que se lograba una mayor abstracción de los fenómenos, éstos comenzaron a disolverse en el ácido de las matemáticas, y junto a ellos, el *substratum* o substancia de los cuales eran manifestación. Sólo en este último sentido —y en contraposición al mecanicismo₁— es posible afirmar que la mecánica de Hertz permite una descripción ‘mecánica’ de la naturaleza.

El cuadro siguiente muestra esquemáticamente la distinción entre estos tipos de mecanicismo:



Aunque estos distintos tipos de mecanicismo se presentan en forma cronológica entre —aproximadamente— comienzos del siglo XVII y finales del XIX, han existido autores cuyos trabajos siguen los cánones de un tipo de mecanicismo extemporáneo. Este sería el caso de la teoría electromagnética de Maxwell y en particular su modelo mecánico del campo electromagnético [Cfr. Berkson (1985): VI]. Del mismo modo puede evaluarse la interpretación de los procesos irreversibles presentada por Boltzmann hacia finales del siglo XIX [Cfr. Salvatico (1996)].

Potenciales desarrollos de esta investigación

Si mi esquema de mecanicismo resulta fructífero, el mismo podría ser un marco adecuado para la descripción de otras filosofías naturales del siglo XVII. Por ejemplo, en la lista de autores no tratados en esta tesis mencioné en primer lugar a Christian Huygens.¹¹⁸ A él pertenece el famoso *dictum* que afirma que “la verdadera filosofía, es aquella en la que la causa de todos los fenómenos naturales se explica por medio de las razones de la mecánica. Y esto es ...lo que debe hacerse, a menos que se renuncie para siempre a toda esperanza de comprender algo en física.” [Huygens (1945):38]¹¹⁹ Tengo evidencia para afirmar que la filosofía natural de Huygens resultaría muy conveniente de reconstruir a partir de mi noción de mecanicismo puro. Y ello sobre la base de que Huygens fue al mismo tiempo un fiel defensor de la ontología cartesiana, a la vez que un matemático muy destacado que logró extender el conjunto de fenómenos naturales que recibieron tratamiento matemático. Estas —y otras características— están incluidas y justificadas en mi esquema de mecanicismo puro.

Otros potenciales desarrollos de este enfoque podrían ser algunas exploraciones detalladas de los tópicos expuestos muy sintéticamente en los dos últimos capítulos de esta tesis.

Pero más allá de las potenciales líneas de investigación, estimo que el enfoque propuesto puede llegar a ser también de utilidad para vincular aspectos de la historia de la filosofía y de la historia de la ciencia. El conjunto de intuiciones básicas en torno al cual estructuré la noción de mecanicismo puro incluye tanto cuestiones abordadas en historia de la ciencia —tales como la matematización de la imagen del mundo— como en historia de filosofía moderna —disputas ontológicas, distinción entre cualidades primarias y secundarias. Si los tópicos anteriores se enseñan de manera aislada en cursos de historia de la ciencia y la filosofía, ello es a causa de trasladar nuestros esquemas conceptuales estancos a un período de la historia en el que la filosofía y ciencia formaban una amalgama indisoluble.

¹¹⁸ Ya se realizó una primera aproximación a este autor en Salvatico (1997a).

¹¹⁹ La traducción ha sido mínimamente modificada por cuestiones de estilo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, P. (1974) "Boyle and Locke on Primary and Secondary Qualities". *Ratio*, 16, 51-67.
- Aristóteles (1988) *Tratados de lógica*. Madrid: Editorial Gredos. Introd., trad., y notas: Miguel Candel Sanmartín. Volumen II incluye *Anal. Post.*
- Ayers, M. (1975) "The Ideas of Powers and Substance in Locke's Philosophy" en Tipton (1977). Reprinted from *Philosophical Quarterly*, 25, 1-27.
- Ayers, M. (1991) *Locke. Volume II: Ontology*. London & New York: Routledge. Cap. 10, 11 & 12.
- Babini, José (1977) *El cálculo infinitesimal*. Buenos Aires: EudeBA.
- Bennett, J. A. (1986) "The Mechanics' Philosophy and the Mechanical Philosophy". *History of Science*, xxix, 1-28.
- Berkson, William (1985) *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Editorial Alianza.
- Boas Hall, Marie (1965) *Robert Boyle on Natural Philosophy*. Connecticut: Greenwood Press.
- Boas, Marie (1952) "The Establishment of the Mechanical Philosophy". *Osiris*, X, 412-541.
- Boido, G. y Flichman, E (1996) "La noción de 'mecanicismo' en la ciencia clásica". *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2.
- Boido, Guillermo (1996) *Noticias del planeta Tierra. Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: A-Z Editora
- Boyer, Carl (1949) *The History of the Calculus and its Conceptual Development*. New York: Dover Publications.
- Boyer, Carl (1986) *Historia de la matemática*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Mariano Martínez Pérez.
- Boyle, R. (1772) *The Works of the Honourable Robert Boyle*. London: Birch Edition.
- Boyle, R. (1985) *Física, química y filosofía mecánica*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Carlos Solís Santos. Incluye traducción de "The Origin of Forms and Qualities".
- Boyle, R. (1996) *A Free Inquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature*. Edited by Hunter, M. y Davis, E., Cambridge: Cambridge University Press.
- Boyle, R. (1999) "Certain Physiological Essays" en Michael Hunter & Edward Davis (eds.), *The Works of Robert Boyle*, Vol. 2, 14 Vols. London: Pickering & Chatto.
- Boyle, R. (1999) "Hydrostatical Paradoxes", en Michael Hunter & Edward Davis (eds.), *The Works of Robert Boyle*, Vol. 5, 14 Vols. London: Pickering &

- Chatto.
- Boyle, R. (2000) "Disquisition about the Final Causes of Natural Things" en Michael Hunter & Edward Davis (eds.), *The Works of Robert Boyle*, Vol. 11, 14 Vols. London: Pickering & Chatto.
- Brown, Gregory (1980) "Vera Entia: The Nature of Mathematical Objects in Descartes". *Journal of the History of Philosophy*, 18 (1), 23-37.
- Brown, Gregory (1989) "Mathematics, Physics, and Corporeal Substance in Descartes". *Pacific-Philosophical-Quarterly*, 70 (4), 281-302.
- Burt, Edwin Arthur (1954) *The Metaphysical Foundations of Modern Science*. Garden City, N.Y.: Doubleday Anchor Books.
- Burt, Edwin Arthur (1960) *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana. Trad. Roberto Rojo.
- Cassirer, Ernts (1953) *El problema del conocimiento*. México: Fondo de Cultura Económica. Trad. W. Roces.
- Clarke, Desmond (1977) "Descartes Use of 'Demonstration' and 'Deduction'". *The Modern Schoolman*, LIV, 333-44.
- Clericuzio, A. (1990) "A Redefinition of Boyle Chemistry and Corpuscular Philosophy". *Annals of Science*, 47, 561-89.
- Cohen, I. Bernard (1983) *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Madrid: Editorial Alianza. Trad. Carlos Solís Santos.
- Curley, E. M. (1976) "Locke, Boyle, and the Distinction between Primary and Secondary Qualities". *Philosophical Review*, 81, 438-64.
- D'Abro, A. (1951) *The Rise of the New Physics*. New York: Dover Publications, Inc.
- D'Alembert, J. (1921) *Traité de dynamique*. Paris: Gauthier-Villars.
- D'Alembert, J. (1984) *Discurso Preliminar de la Enciclopedia*. Buenos Aires: Ediciones Orbis.
- Descartes (1951) *Los principios de la filosofía*. Buenos Aires: Editorial Losada. Trad. Gregorio Halperin.
- Descartes (1954) *The geometry of René Descartes*. New York: Dover Publications. Translated from the French and Latin by Eugene Smith and Marcia I. Latham.
- Descartes (1983) *Discurso del método*. Madrid: Ediciones Orbis. Trad. Antonio Rodríguez Huéscar.
- Descartes (1984) *Reglas para la dirección del espíritu*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Juan Manuel Navarro.
- Descartes (1987) *Meditaciones metafísicas y otros textos*. Madrid: Editorial Gredos. Trad. E. López y M. Graña.
- Descartes (1989) *El Mundo. Tratado de la Luz*. Barcelona: Anthropos. Trad. Salvio Turró.

- Descartes (1990) *El tratado del hombre*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Guillermo Quintás.
- Descartes (1991) *The philosophical Writings of Descartes. Volume III: The Correspondence*. Editado por Cottingham, Stoothoff, Mundoch, Kenny. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dijksterhuis, E. J. (1961) *The Mechanization of the World-Picture*. Princeton: Princeton University Press.
- Downing, Lisa (1998) "The Status of Mechanism in Locke's Essay". *Philosophical Review*, 107, 3, 381-414.
- Drake, Stillman & Drabkin, I. E. (1969) (eds.) *Mechanics in the Sixteenth Century: Selections of Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo y Galileo*. Madison: The University of Wisconsin Press.
- Dugas, René (1988) *A History of Mechanics*. New York: Dover Publications, Inc.
- Farr, James (1987) "Locke on Method". *Journal for the History of Ideas*, 48, 51-72.
- Galileo (1981) *Cause and Experiment and Science: A Galilean dialogue incorporating a new English translation of Galileo's "Bodies that stay Atop water, or move in it. (Discorso intorno alle cose que stanno in sul'acqua e que in quella si muovono)* Chicago: The University of Chicago Press. Edited by Stilman Drake.
- Galileo (1991) *El ensayador en Galileo. Antología*. Barcelona: Editorial Península. Trad. Víctor Navarro.
- Galileo (1994) *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Antonio Beltrán Marí.
- Galileo (1996) *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Barcelona: Planeta -De Agostini. Trad. Carlos Solís y Javier Sádaba.
- Garber, Daniel (1992) *Descartes' Metaphysical Physics*. Chicago: Chicago Press.
- Gaukroger, S. (1992) "The Nature of Abstract Reasoning: Philosophical Aspects of Descartes' Work in Algebra" en *The Cambridge Companion to Descartes*, Cottingham, J. (ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Grayson-Smith (1969) *Los conceptos cambiantes de la ciencia*. México: Hispano-América.
- Gueroult, Martial (1980) "The Metaphysics and Physics of Force in Descartes" en Gaukroger, S. (ed.) (1980) *Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press.
- Harper, W. & Smith, G. (1995) "Newton's New Way of Inquiry" en Leplin, J. (ed.) *The Creation of Ideas in Physics*. Dordrecht: Kluwer.
- Hartfield, G. (1979) "Force (God) in Descartes' Physics" en *Studies in the History and Philosophy of Science*, 10, 2, 113-40.
- Hertz, Heinrich (1956) *The Principles of Mechanics*. New York: Dover Publications.

- Authorized Translation by D. E. Jones and J. T. Walley. Preface by H. von Helmholtz.
- Hooykaas, R. (1987) "The Rise of Modern Science: When and Why?". *British Journal for the History of Science*, 20, 453-73.
- Huygens, C. (1945) *Tratado de la luz*. Buenos Aires: Editorial Losada .
- Joy, Lynn Sumida (1988) "The Conflict of Mechanisms and Its Empiricist Outcome". *The Monist*, 71, 4, 498-5514.
- Kearney, Hugh (1971) *Science and Change. 1500-1700*. McGraw-Hill Book Company.
- Koyré, Alexandre (1979) *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Editorial Siglo XXI. Trad. Carlos Solís Santos.
- Koyré, Alexandre (1980) *Estudios galileanos*. Madrid: Editorial Siglo XXI. Trad. Mariano González.
- Kuhn, Thomas (1978) *La revolución copernicana*. Barcelona: Editorial Ariel. Trad. Domènec Bergadà.
- Kuhn, Thomas (1985) *The Copernican Revolution*. Harvard University Press. Original (1957).
- Lagrange, J. L (1815) *Mecanique analytique*. Paris: Mme. Vr. Courcier.
- Laplace, Pierre Simon (1878) *Oevres complètes*. París: Gauthier-Villars. 14 vols. *Traité de Mecanique Céleste* vols. I-V.
- Laplace, Pierre Simon (1984) *Exposition du système du monde*. Paris: Fayard.
- Laudan, Larry, (1977) *Progress and Its Problems*. Berkeley: University of California Press.
- Laudan, Larry, (1981) *Science and Hypothesis*. Dordrecht: Reidel.
- Lennox, James (1983) "Robert Boyle's defense of teleological inference in experimental science". *Isis*, 74, 38-53.
- Locke, J. (1960) *Ensayo sobre el entendimiento humano*. Buenos Aires: Losada. Publicación original: 1690.
- Locke, J. (1975) *An Essay Concerning Human Understanding*. Oxford: Clarendon Press. Publicación original: 1690.
- Losee, John (1981) *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lynes, J. W. (1982) "Descartes' Theory of Elements: from *Le Monde* to the *Principles*". *Journal of the History of Ideas*, 43, 1, 55-72.
- Mach, Ernst (1949) *Desarrollo histórico-crítico de la Mecánica*. Buenos Aires: Espasa Calpe. Trad. José Babini.
- Machamer, Peter (1998) "Galileo's Machines, his Mathematics, and His Experiments" en *The Cambridge Companion to Galileo*, Machamer, P. (ed.).

- Cambridge: Cambridge University Press.
- Mackie, J. L. (1988) *Problemas en torno a Locke*. México: Universidad Autónoma de México.
- Mandelbaum, Maurice (1966) *Philosophy, Science and Sense Perception* Baltimore, The John Hopkins Press. Cap. I.
- Mason, Stephen (1986) *Historia de las ciencias. 4. La ciencia en el siglo XIX*. Madrid: Alianza Editorial.
- Maupertuis, P. L. Moreau de (1985) *El orden verosímil del cosmos*. Madrid: Alianza Editorial.
- McCann, E. (1983) "Lockean Mechanism" en Holland, A. J. *Philosophy, its History and Historiography*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 209-29.
- McGuire, J.E., (1995) *Tradition and Innovation*. Dordrecht: Kluwer.
- Menna, S. & Salvatico, L (1994) "Galileo y Descartes: fenomenismo y tradición". *Actas VII Congreso Nacional de Filosofía*.
- Nadler, Steven (1998) "Doctrines of Explanation in the Late Scholasticism and in the Mechanical Philosophy" en Garber, Daniel and Ayers, Michael, editors, *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, I. (1729) *Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*. Berkeley: University of California Press. Trad. Florian Cajori.
- Newton, I. (1977) *Optica*. Madrid: Alfaguara. Trad. Carlos Solís.
- Newton, I. (1993) *Principios matemáticos de filosofía natural*. Barcelona: Ediciones Altaya.
- Rada, Eloy (ed.) (1980) *La polémica Leibniz – Clarke*. Madrid: Taurus Ediciones.
- Redondi, Pietro (1998) "From Galileo to Augustine". en *The Cambridge Companion to Galileo*, Machamer, P. (ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Salvatico, Luis & Menna, Sergio (1999) "Locke y el razonamiento analógico". *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 5.
- Salvatico, Luis (1995) "Vía Láctea y cosmología en Kant y Lambert". *Actas de las IV Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*.
- Salvatico, Luis (1996) "Aspectos filosóficos del mecanicismo tardío y su relación con el determinismo: el caso Boltzmann". *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2.
- Salvatico, Luis (1997a) "Christian Huygens y el principio de conservación de la energía". Trabajo presentado en el X Colóquio de História da Ciência: Universalidade, Racionalidade e Progreso na Ciência. Campos de Jordão, Brasil, 8 al 12 de septiembre de 1997.
- Salvatico, Luis (1997b) "La mecánica hertziana desde la perspectiva del mecanicismo clásico". *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3.

- Salvatico, Luis (1998) "El ideal de conocimiento en el mecanicismo clásico". *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 4.
- Sargent, Rose Mary (1995) *The Diffident Naturalist: Robert Boyle and the Philosophy of Experiment*. Chicago: University of Chicago Press.
- Sargent, Rose Mary (1986) "Boyle's Baconian Inheritance: a Response to Laudan's Cartesian Thesis". *Studies History and Philosophy of Science*, 17, 469-91.
- Schofield, R. E. (1970) *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason*. Princeton: Princeton University Press.
- Shanahan, Timothy (1994) "Teleological Reasoning in Boyle's Disquisition about the final Causes", en M. Hunter, *Robert Boyle Reconsidered*. Cambridge: Cambridge University Press, 177-92.
- Shapin, Steven (1996) *The Scientific Revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Shapin, Steven (1988) "Robert Boyle and Mathematics: Reality, Representation, and Experimental Practise". *Science in Context*, 2, 1, 23-58
- Solís Santos, Carlos (1987) "La Fuerza de Dios y el Eter de Cristo: la explicación de la interacción a través del espacio en la filosofía de Newton". *Sylva Clus*, i, 2, 51-80.
- Tamny, Martin (1990) "Atomism and the Mechanical Philosophy" en R.C. Olby et al., eds., *Companion to the History of Modern Science*. London - New York: 597-609.
- Taton, René (1988) *Historia general de las ciencias*. Barcelona: Ediciones Orbis. Trad. Manuel Sacristán. Tomo segundo: Las ciencias en el mundo grecorromano; cuarto: El Renacimiento; quinto: El siglo XVII; sexto: El Siglo XVIII. 1. Las ciencias teóricas. 2. Las ciencias físicas.
- Tipton, I. C. (1977) (ed.), *Locke on Human Understanding*. Oxford: Oxford University Press.
- Truesdell, Carl (1975) *Ensayos de historia de la mecánica*. Madrid: Editorial Tecnos. Trad. Navascues y Tierno Pérez.
- Turner, J.E. (1940) "The Distinction between 'Mechanics; and 'Mechanism'". *Philosophy of Science*, VII, 49-55.
- Vickers, Brian (comp.) (1990) *Mentalidades Ocultas y Científicas en el Renacimiento*. Madrid: Alianza Editorial. Trad. Jorge Vigil.
- Wallace, William (1989) "The problem of Apodictic Proof in Early Seventeenth-Century Mechanics: Galileo, Guevara and the Jesuits", *Science in Context*, 3, 1, 67-87.
- Westfall, Richard (1980a) *La construcción de la ciencia moderna*. Barcelona: Editorial Labor. Trad. Ramón Jansana.
- Westfall, Richard (1990) "Newton y la alquimia" en Vickers, B. (1990).

- Wiener, Philip Paul (1932) "The Experimental Philosophy of Robert Boyle (1626-91)". *The Philosophical Review*, 41, 6, 594-609.
- Wilson, M. (1979) "Superadded Properties: the Limits of Mechanism in Locke.". *American Philosophical Quarterly*, 16, 2, 143-50.
- Windelband, Wilhem (1951) *Historia de la filosofía moderna*. Buenos Aires: Editorial Nova.
- Wittgenstein, L. (1958) *Philosophical Investigations*. New York: Macmillan Publishing Co., Inc.
- Yolton, J. W. (1956) *John Locke and the Way of Ideas*. Oxford: Oxford University Press.
- Yolton, J. W. (1970) *Locke and the Compass of the Human Understanding*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yost, R. M. (1951) 'Locke's rejection of Hypothesis about Sub-Microscopic Events". *Journal for the History of Ideas*, 12, 113-30.