

LA FILOSOFÍA MECÁNICA DE DESCARTES, BOYLE Y HUYGENS

Diego Aísa. Universidad de Zaragoza

Resumen: Es bien conocido que en la construcción de la ciencia no sólo juegan un papel importante factores internos sino también factores externos como la economía, la política, las creencias religiosas y metafísicas del científico, etc., todo ello aprendido dentro de una tradición científica, que T. Kuhn llama «paradigma» o L. Laudan «tradición de investigación». En este ensayo pretendemos poner de relieve la importancia que factores metafísicos como la filosofía mecanicista han tenido en los orígenes de la ciencia moderna de los siglos XVII y XVIII. Tales factores, unidos a los empíricos y teóricos, llevaron a la formulación de programas progresivos de investigación. El mecanicismo es mejor comprendido si se reconstruye desde el punto de vista de un programa de investigación de Lakatos o de un paradigma kuhniano.

Abstract: It is a well-known fact that in the making of science not only internal factors of science play a rôle, but also external ones do, such as economy, policy, each scientist's religious and metaphysical beliefs, and so on. These elements have them all been usually learned within a specific scientific tradition (say a T.S. Kuhn's «paradigm» or a L. Laudan's «research tradition»). Here we intend to emphasize the significance metaphysical factors, such as mechanistic philosophy, had in the origins of modern science, in seventeenth and eighteenth centuries. Such factors, together with empirical and theoretical ones, led to the formulation of progressive research programs. A much better view of mechanism is attained when reconstructed from the perspective of Lakatos's scientific research programs or a Kuhnian paradigm.

1. Introducción

La proporción de la importancia entre teoría y experiencia ha sido desigualmente reconocida por científicos y filósofos en los diversos períodos de la historia de la ciencia. Habitualmente se piensa en Francis Bacon como ejemplo de pensador protoempirista que, además, desconsideraba el uso de las matemáticas en el método, y en Descartes, por contra, como racionalista deductivista que desestimaba la experiencia. Ambas ideas son inexactas. Descartes, como veremos más tarde, abusó, sin duda, de la especulación metafísica a la hora de construir su física, pero recurrió a la experiencia continuamente para tratar de confirmar sus afirmaciones teóricas. Por su parte, F. Bacon, pese a las acusaciones de inductivismo puro y

duro, ateuico y provinciano de que fue objeto¹, desde las filas popperianas sobre todo, resaltó la necesidad de una perfecta simbiosis entre ambas:

«Los empíricos, a la manera de hormigas, se limitan a acumular y a consumir. Los racionalistas, como las arañas, sacan de sí mismos la tela. La vía intermedia, sin embargo, es la de la abeja que obtiene la materia de las flores del jardín y del campo, pero que la transforma y elabora con su propia capacidad.»²

En el extremo contrario a Bacon también, se ha puesto en duda el carácter experimental de los *Discorsi* de Galileo, sobre todo a partir de los *Estudios Galileanos* de A. Koyré³. En opinión del último serían la obra de un científico apriorista, platónico, que no habría realizado más que experimento mentales. Sin embargo, S. Drake y J. MacLachlan [1973, 1975]⁴ han estudiado manuscritos inéditos de Galileo de la Biblioteca Nacional de Florencia, como el del folio 116, del vol. 72, donde se describe un experimento referente al plano inclinado, en el que aparecen medidas concretas observadas que se confrontan con las predichas por él mismo. La versión del método de Galileo dada por Koyré y mantenida hasta hasta entrados los sesenta sería una caricatura de la realidad que contradice la investigación más reciente.

Más tarde, Newton vuelve a preconizar el *método inductivo* y a enfatizar el valor de los fenómenos en sus *Reglas para filosofar* al comienzo del libro III de los *Principia*⁵ [1687, 1ª ed.] y al final de la cuestión 31 de la *Optica* [1704, 1ª ed.]⁶. En la última obra Newton habla de *análisis y síntesis* como el método de la filosofía natural .

«Como en las matemáticas, en la filosofía natural la investigación de las cosas difíciles por el método de análisis ha de preceder siempre al

¹ I. Lakatos: *La metodología de los programas de investigación científica*, Madrid, Ed. Alianza, 1983. p. 208 . P. Rossi ha reivindicado la figura de F. Bacon, poniendo, a su vez, de relieve, lo precipitadas y manualescas de algunas de estas opiniones en *Las arañas y las hormigas*, Barcelona, Ed. Crítica, 1990.

² *Novum Organum* I, aforismo XCV. Cf. F. Bacon: *La gran restauración*, Madrid, Ed. Alianza, 1985. p.153.

³ Ed. siglo XXI, Madrid, 1990². Edición original francesa de 1939.

⁴ S. Drake: «Galileo's experimental confirmation of horizontal inertia: unpublished manuscripts» *Isis*, 64 (1973), 290-305. S. Drake y J. MacLachlan: «Galileo's discovery of the parabolic trajectory», *Scientific American*, Marzo (1975), 102-110. Cf. P. Thuillier: «Galileo y la experimentación». *Mundo científico*, 26 (1984), vol. 3, 584-597.

⁵ I. Newton: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid, Editora Nacional, 1982. Traducción, introducción y notas de A. Escotado. p. 657.

⁶ I. Newton: *Optica*. Madrid, Ed. Alfaguara, 1977. Traducción, introducción y notas a cargo de Carlos Solís. p. 349.

método de composición.»⁷

El análisis consiste en hacer observaciones y experimentos, en sacar conclusiones generales de ellos por inducción y en no admitir otras objeciones en contra de ellas que las salidas de los experimentos u otras verdades ciertas, pues *las hipótesis no han de ser tenidas en cuenta* en la filosofía experimental. Si de los fenómenos no surge ninguna excepción, las conclusiones pueden proclamarse en general; si surge alguna con el tiempo, habrán de proclamarse las conclusiones con las excepciones pertinentes. La síntesis consiste, por su parte, en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios y en explicar con ellas los fenómenos, procediendo a partir de ellas y demostrando las explicaciones.

Lo afirmado desde «en sacar conclusiones...» hasta «... pertinentes» fue añadido en la segunda edición inglesa de la *Optica* [1718] y es una reexposición atenuada de la regla IV de filosofar de los *Principios*. *Prima facie*, el añadido parece significar que Newton, que durante un tiempo tuvo en cuenta las objeciones de los cartesianos contra su idea de la acción a distancia implícita en su doctrina de la gravedad, renuncia a aceptar críticas racional-metafísicas, tipo cartesiano, para refugiarse exclusivamente en las explicaciones empíricas estrictas. Esta interpretación adopta Lakatos⁸ cuando, comentando la regla IV de los *Principios*, afirma que «esta regla cercena el modelo cartesiano de explicación» o que «va contra la proliferación escéptica de teorías». Sin embargo, pese al aferramiento propagandístico a la inducción a partir de fenómenos, Newton seguirá dando explicaciones metafísicas de los fenómenos cuando lo considere necesario, como es el caso de la gravedad, introduciendo, en esa misma 2ª edición inglesa de la *Optica*, la hipótesis metafísica de un éter discontinuo sutilísimo para explicarla. Por ello, el rechazo del método racional-mecanicista cartesiano no significa, por su parte, la eliminación de explicaciones metafísicas.

A partir de la 2ª edición de los *Principia* [1713] hay una persecución sistemática del término hipótesis sustituyéndolo por otros. Esta edición añade también la regla III de filosofar en la que recalca que sólo podemos conocer las cualidades de los cuerpos por los experimentos. Y también añade el *Escolio general* en que aparece el famoso *hipotesis non fingo*.

«Hasta aquí hemos explicado los fenómenos de los cielos y nuestro mar por la fuerza gravitatoria, pero no hemos asignado aún una causa a esa fuerza (...) Hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de fenómenos y *no finjo hipóte-*

⁷ *Ibid.* p. 349.

⁸ *La Metodología de los ...* pp. 261 y 263.

sis. Pues todo lo no deducido de fenómenos ha de llamarse hipótesis, y las hipótesis, ya metafísicas ya físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental.»⁹

Por «hipótesis», por tanto, entiende especulación a la cartesiana, no fundada en experimentos. Sin embargo, Newton realmente usa hipótesis, aunque no mente el nombre. Muchos de sus experimentos están guiados por hipótesis como el llamado *experimentum crucis*¹⁰ de los dos prismas a través de los que pasa un rayo de luz. El experimento muestra, como suponía Newton, la diversa refrangibilidad de los colores contra Descartes, que sostenía que ello se debía al paso del rayo por el cristal. Asimismo hace uso de hipótesis tan metafísicas como las que ataca, p. ej., el espacio y tiempo absolutos, hipótesis mecánicas como la del éter discontinuo ya mencionado, metodológicas tan discutibles como el principio de transducción e inducción (reglas III y IV de filosofar), etc.

El establecimiento de la ley de gravitación universal es un magnífico ejemplo de cómo se combinan diversos elementos en el método científico: observaciones y datos experimentales, las tres propias leyes del movimiento de Newton, que son el marco teórico general de todo su sistema, el uso de leyes establecidas anteriormente como las leyes de Kepler, deducciones matemáticas, generalizaciones inductivas, etc.

En época más reciente Karl Pearson y R.G. Collingwood¹¹, sostuvieron también puntos encontrados. Para Pearson, el único método de interrogar a la naturaleza es el método empírico inductivo: existen «hechos brutos», de los que se derivan leyes generales. Collingwood, en cambio, afirmaba que el pensamiento científico se mueve en el transfondo de una serie de presuposiciones, que no son ni verdaderas ni falsas, pero que caracterizan cada época en la historia de una ciencia. Las diversas presuposiciones constituyen el marco teórico referencial último desde el que se debe dar explicación a los fenómenos científicos. Estos marcos generan preguntas contrastables en forma de hipótesis que guían la investigación concreta en los diversos campos. La teoría de Collingwood es imprecisa, pero recalca un modo de ver la ciencia hoy generalmente aceptado. Se acepta hoy que las teorías concretas se circunscriben en el marco de macroteorías más generales que Kuhn llamó *paradigmas*, Lakatos *programas de investigación*, Laudan de *tradiciones de investigación*, etc. y que incluyen al menos estos tres órdenes de elementos: una ontología, que delimita qué tipos de enti-

⁹ *Principios Matemáticos...*, pp.816-7.

¹⁰ *Optica*, p. 49.

¹¹ Cfr. Stinner, A.: [1989]: «The Teaching of Physics and the Contexts of Inquiry: From Aristotle to Einstein», en *Science Education* 73, 5 (1989), pp. 591-605. Cf. también H.I. Brown: *La nueva filosofía de la ciencia*, Madrid, Ed. Tecnos, 1983, pp. 134-141. Ed. inglesa 1977.

dades últimas se admiten como base de explicación subyacente de los fenómenos observables, unas normas o criterios metodológicos y epistemológicos, que prescriben el método a seguir, valores metodológicos como exactitud en las predicciones, fructuosidad, simplicidad, corroboración, consistencia, qué tipo de explicaciones son adecuadas, etc. y unos objetivos cognitivos o pragmáticos como la búsqueda de la verdad, verosimilitud, resolución de problemas, restringirse a enunciados sobre propiedades manifiestas, etc.

Comprender la historia de la ciencia exigiría tener en cuenta todos esos elementos que integran la investigación científica, es decir, los diversos contextos de la investigación: el marco conceptual, los problemas lógicos, epistemológicos, metodológicos y semánticos, de una parte y, de otra, el contexto histórico y psicossociológico.

2. *El mecanicismo como programa de investigación científica*

La visión mecanicista del mundo se origina con el atomismo griego de Leucipo y Demócrito (s. V a.C.). En el siglo XVII la filosofía mecanicista será el marco de referencia último de los principales científicos: Galileo, Torricelli, Borelli, Mersenne, Pascal, Gassendi, Boyle, Hooke, Oldenburg, Huygens y, sobre todo, Descartes, el más influyente de todos. El propio Newton, para evitar la crítica de que admitía *acción a distancia*, a manera de las cualidades ocultas de los escolásticos, se aproxima a las explicaciones mecanicistas y esto a pesar de lo que señala Lakatos de que, a partir de la 2ª edición de los *Principia* de 1713, Newton pasa por alto las críticas de los cartesianos, como hemos indicado antes. En el tercer libro de la *Optica*, en las cuestiones 18-21, añadidas en la segunda edición inglesa de 1718, introduce la hipótesis de un éter discontinuo, sutilísimo, sumamente elástico, más densamente agrupado en las regiones interestelares que en los intersticios de los cuerpos. La fuerza de la elasticidad de este éter sería tan grande como para empujar a los cuerpos de las partes más densas a las partes más raras de ese medio con esa potencia llamada gravedad. Newton, con ello, sustituye en la *Optica* (cuestión 18 concretamente)¹², el universo vacío de los *Principia* por otro lleno de un fluido sutil, rarísimo y más activo que el aire, que sería el intermedio entre la acción de Dios y la materia densa y pasiva. Ese éter sería como el sensorio de Dios a través del que actuaría constantemente sobre la materia. La primera edición de la *Optica* atribuía directamente a Dios la causa de la actividad de la materia. Contrasta la introducción de este éter con el carácter antimecánico y vacío de éter de los *Principia*. En la primera edición de la *Optica* no creía que la

¹² Cf. C. Solís, nota 5, al lib. III, parte I, de la *Optica*, pp. 408-410.

diferencia en la densidad del éter pudiera ser la causa, ni siquiera próxima, de la gravedad. La materia, y el éter los concibe inertes ahí, y no pueden ser el origen de la actividad gravitatoria. En la cuestión 28, presente ya en la 1ª edición latina de 1706, al final, cuando rechaza la teoría cartesiana de la luz como pulso y el plenismo cartesiano, y reclama el vacío, se remonta a la última causa como el objeto final del conocimiento humano, a la que nunca podremos alcanzar, pero sí aproximarnos.

«Sin embargo, el objetivo de la filosofía natural es argumentar a partir de fenómenos, sin imaginar hipótesis, y deducir las causas a partir de los efectos hasta alcanzar la primerísima causa que ciertamente no es mecánica.»

Entre los mecanicistas hay notables diferencias. P. ej., respecto al vacío, Gassendi y Huygens lo admiten, sin duda, Boyle parece que también, aunque se muestre, a veces, vacilante; mientras Descartes lo rechaza; éste, identificando materia y extensión, y espacio geométrico y físico, como Zenón de Elea, admite la divisibilidad sin límite de la materia, no es atomista como Gassendi, que admite átomos indivisibles; Huygens rechaza los átomos luminosos de Gassendi pero convierte en verdaderos átomos los corpúsculos de Descartes. La concepción de la ciencia también es distinta en Gassendi y Descartes. Para el primero, tal como expone en sus escritos lógicos, sólo Dios conoce las esencias últimas; los hombres deben conformarse con la descripción de los fenómenos, aunque, en la práctica, Gassendi olvidara eso y buscara también explicaciones mecanicistas últimas. Descartes buscará también semejantes explicaciones en términos mecánicos y geométricos, con el recurso a Dios como causa primera del movimiento.

Pese a las diferencias importantes —plenismo/vacuismo, atomismo/divisibilidad de la materia, etc.— las coincidencias son mucho más importantes, de forma que, como dice Boyle, ambas filosofías, la atomista y la cartesiana, podrían ser tenidas por una sola filosofía por una persona conciliadora, pues ambas deducen todos los fenómenos naturales de la materia y del movimiento local. Y ya que la teoría cartesiana explica las cosas mediante corpúsculos o cuerpos diminutos, propone llamarla filosofía corpuscular.¹³

Los precedentes antiguos del programa mecanicista hay que situarlos en los atomistas griegos¹⁴, como se ha dicho más arriba. Demócrito lo había formulado así en el siglo V a.C.:

¹³ Cf. Boyle, R.: *Física, química y filosofía mecánica*, Madrid, Ed. Alianza, 1985. Cap. 7.

¹⁴ Cf. A. Poratti et alii: *Los filósofos presocráticos*, Madrid, Ed. Gredos, 1986, 1ª reimp. Vol. III.

(1) La realidad se compone de átomos (partículas indivisibles¹⁵) y vacío. Los átomos no se diferencian cualitativamente, son homogéneos en cuanto a su textura; sus diferencias son meramente cuantitativas: tamaño y figura. Epicuro añadió el peso¹⁶.

(2) «Nada se engendra de lo no existente, nada se destruye en lo no existente»¹⁷. Esto es, por debajo de la multiplicidad aparente de cosas diferentes a los sentidos, hay un *substrato permanente* que son los átomos, eternos e indestructibles. Se está vislumbrando, de alguna forma, un principio de conservación de la materia, que formularía Lavoisier en el siglo XVIII.

(3) «Por necesidad están preordenadas todas las cosas que fueron, son y serán»¹⁸. Este principio afirma el determinismo y el mecanicismo. El mundo es una entidad física que se rige mediante leyes naturales por necesidad, que emanan de la constitución íntima de los propios átomos; todo es resultado del encadenamiento de una serie de causas y efectos naturales (determinismo), excluyéndose cualquier intervención de alguna fuerza extraña a ellos (mecanicismo). Demócrito se opone al azar en el sentido de indeterminación interna y a toda interpretación finalista del cosmos. Epicuro (IV-III a.C.), modificaría, luego, este mecanicismo para afirmar la contingencia y el indeterminismo de los átomos que forman el alma (habla de la «desviación» causal o *parénklisis* de esos átomos) para explicar la libertad humana. En la naturaleza, sin embargo, afirma el mecanicismo democríteo.

(4) El único modo de acción de los átomos es por contacto. Los átomos se mueven por el vacío y chocan entre sí, agregándose y formando los cuerpos que vemos. Los átomos se mantienen unidos gracias al ajuste entre ellos, debido a las diferentes formas que tienen: ganchudos, cóncavos, convexos, etc. Cuando una necesidad proveniente del medio es más fuerte, los disgrega y perturba, descomponiéndose los cuerpos.¹⁹

(5) Un mundo se produce cuando un vórtice o gran número de átomos de todas clases se reúnen en un sector vacío del espacio infinito. Luego viene la separación de los diversos tipos de átomos, de manera semejante a como se separan las semillas con un cedazo o los guijarros a la orilla del mar. Demócrito no habla de atracción o repulsión a distancia, sino simplemente de acción mecánica del torbellino. La única propiedad inherente a los átomos era la impenetrabilidad e inercia. El peso se debe al medio que los rodea, a los impactos con otros átomos. El movimiento tampoco está

¹⁵ DK 68 A37.

¹⁶ DK68 A47.

¹⁷ DK, 68 A 1.

¹⁸ DK, 68 A 39.

¹⁹ DK, 68 A 37.

implícito en el concepto de materia. Su causa debe estar fuera, en el torbellino²⁰.

El mecanicismo atomista griego estaba formulado exclusivamente en términos metafísicos en cuanto no permitía predicciones de hechos observables y resultaba incontrastable con la experiencia. En la ciencia del siglo XVII la *ontología mecanicista* formaría parte de la *heurística* del programa mecanicista junto a otros componentes que guardaban conexión con la experiencia.

A continuación trataremos de reconstruir el mecanicismo, centrándonos sobre todo en Descartes, como un *programa de investigación científica* en el sentido de Lakatos²¹. Tal reconstrucción racional permite una visión más clara de los diversos componentes del programa mecanicista y sus relaciones, aunque toda reconstrucción siempre corre el riesgo de ser artificial y deformadora de la realidad. Pero, por otra parte, las reconstrucciones racionales tienen el valor de estar en el punto medio entre la ceguera de una historia de la ciencia no guiada por la filosofía y la vacuidad de una filosofía de la ciencia sin historia de la ciencia. La metodología lakatosiana considera el núcleo firme de un programa como algo rígido e intocable mientras éste se mantiene. Esto implica que los seguidores del mismo mantienen las mismas creencias básicas sobre su ciencia durante ese tiempo. Las diferencias hay que situarlas en el cinturón protector. Ello nos ha obligado a identificar el núcleo mecanicista con aquellos elementos que aceptan todos ellos y sacar fuera las diferencias entre los mismos. Alguien podría objetar que el concepto de *tradición de investigación* de L. Laudan es

²⁰ DK 67 A1, 68 A40.

²¹ Recordaremos que un programa de investigación consta de tres componentes: (1) un *núcleo sólido* o firme, que consiste en hipótesis teóricas muy generales a partir de las cuales se desarrolla el programa, que es infalsable por decisión metodológica y que se mantiene intacto mientras dura el programa; (2) un *cinturón protector* del núcleo, consistente en un conjunto de *hipótesis auxiliares, condiciones iniciales, etc.* y, (3) *reglas metodológicas* que nos dicen lo que no debemos hacer (*heurística negativa*) y lo que tenemos que hacer (*heurística positiva*) cuando hay que modificar el programa para ajustarlo a las observaciones. Cuando hay inconsistencia entre teoría y observación, los cambios se producen en el cinturón protector, no en el núcleo que se mantiene intacto. Sólo cuando el programa fracasa sistemáticamente para explicar hechos pasados o predecir nuevos, y hay a disposición otro con mayor contenido empírico corroborado y poder heurístico, se cambia por el último. Lakatos, a diferencia de Kuhn, admite que pueden coexistir durante cierto tiempo dos programas rivales durante un período de ciencia normal, como fue, p. ej., el caso de la teoría de los vórtices de Descartes y la gravitación de Newton.

Lakatos hablaba de programas de investigación *progresivos* y *degenerativos*, a nivel teórico o empírico. Un programa es *teóricamente* progresivo si cada nueva versión del mismo tiene algún exceso de contenido empírico con respecto a su predecesor y un programa es *empíricamente* progresivo si una parte de ese exceso de contenido empírico es corroborado, esto es, si cada nueva teoría induce al descubrimiento real de algún hecho nuevo. Cf. I. Lakatos: *La Metodología de los...* pp. 65 y ss y p. 49.

menos rígido que el de Lakatos, porque admite divergencias de sus seguidores en los supuestos básicos y se ajusta más a la historia de la ciencia real. Tal vez sea esto así, pero, entonces, se desdibujan demasiado, pensamos, las diferencias entre diversos programas o tradiciones de investigación. En conclusión, nuestra pretensión es sólo clarificar los diversos componentes del programa mecanicista sin entrar en polémicas sobre si forman un núcleo rígido o flexible. Por otra parte, Lakatos, no da sino vagas indicaciones sobre el programa cartesiano y nada dice de Boyle o Huygens.

Capek²² considera el esquema mecánico clásico de la naturaleza, defendido por la concepción cinético-corpúscular de la materia, resumible en estas aseveraciones:

«(1) La materia, que es discontinua en su estructura, o sea, que se compone de unidades rígidas y compactas, se mueve a través del espacio según las leyes estrictas de la mecánica.

»(2) Todas las diferencias cualitativas de la naturaleza se deben a la diversa configuración o movimiento de estas unidades básicas.

»(3) Todos los cambios aparentemente cualitativos son efectos superficiales del desplazamiento de las unidades básicas.

»(4) Toda acción recíproca entre los corpúsculos básicos se debe a su impacto directo.

»(5) La variedad y transformación cualitativa son adiciones psíquicas de la mente, no pertenecen a la naturaleza de las cosas.»

Nos podemos preguntar si podrían formar parte todas estas afirmaciones del núcleo *sólido* o *duro* del programa mecanicista. Por lo dicho más arriba parece que no, pues la primera afirmación, que supone el carácter discontinuo de la materia, es rechazada por Descartes, el principal defensor de la filosofía mecánica. Aunque, por línea general, los mecanicistas admitieron el vacío, no sería esta hipótesis tan relevante como para identificar a los filósofos y científicos mecanicistas. Así que podríamos considerarla como una hipótesis auxiliar del cinturón protector o como un principio metafísico perteneciente a la heurística. Las afirmaciones (2), (3) y (5) las compartían todos los científicos mecanicistas de la época. Lakatos las interpretaría, en mi opinión, como normas heurísticas positivas en el sentido de alentar a los mecanicistas a explicar los fenómenos teniendo en cuenta únicamente sus magnitudes mensurables. La más relevante, la que define el mecanicismo, sería la afirmación (4), la idea de que el universo

²² Cf. Capek, M.: *El impacto filosófico de la física contemporánea*, Madrid, Ed. Tecnos, 1965. p. 94.

funciona como un reloj, por choque o contacto entre sus componentes, más que la cuestión de si los choques se producen a través del vacío o directamente. Lakatos también la interpreta como una norma metodológica. Las afirmaciones de Capek son demasiado generales, sin embargo, para delimitar con precisión los elementos del programa mecanicista. Para ello, necesitamos fijarlos en los científicos concretos.

La filosofía mecanicista sirvió de modelo ontológico heurístico y explicativo de los fenómenos físicos y químicos en el siglo XVII y, en óptica, se prolongaría hasta fines del siglo pasado o principios de éste. Como pusieron de relieve J. Agassi²³ y J. Watkins²⁴ las ideas metafísicas pertenecen a la investigación científica en cuanto ideas reguladoras de una importancia decisiva. Las ideas metafísicas son ciertamente infalsables, pero se pueden poner en relación con teorías científicas refutables. Se puede decidir entre dos metafísicas subyacentes sobre la base de las teorías científicas que desarrollan, como fue el caso entre el mecanicismo de Descartes y la teoría de la acción a distancia de Newton. Ciertamente no se pueden deducir formalmente reglas metodológicas positivas de ideas metafísicas pero sí pueden chocar éstas con ciertas hipótesis refutables prohibiendo su construcción. El mecanicismo, p. ej., se interpretaría ordenando un principio como: «no deben usarse premisas en las explicaciones que incluyan acciones a distancia, cualidades ocultas, transmisión instantánea, o cualquier desviación del principio de acción por contacto». Por ello, rechaza toda explicación newtoniana que presupusiese «acción a distancia».

RENÉ DESCARTES (1596-1650)

3. El mecanicismo cartesiano como programa de investigación

El objetivo principal de Descartes no era resolver problemas concretos que interesaban a los científicos de la época, sino construir un sistema completo del mundo que sustituyese al viejo de la escuela, eliminado toda explicación en términos de cualidades ocultas y formas sustanciales en beneficio de un mecanicismo universal que usaba sólo tres conceptos: extensión, figura y movimiento. Descartes pretendía presentarlo como matemáticamente demostrado, pero en realidad era una imagen de la física de la Escuela que pretendía suplantar. Cautivaba por la simplicidad de planteamientos.

«He probado por demostración matemática todo lo que he escrito, al

²³ «Scientific problems and their roots in metaphysics» en Bunge, M.(ed.): *The critical approach to science and philosophy*, Free Press, Glencoe, III, 1964. pp. 189-211.

²⁴ «Confirmable and influential metaphysics», *Mind*, 67 (1958), pp. 344-365.

menos lo más general, concerniente al cielo y la tierra, y que apenas puede ser comprendido de otro modo que como yo lo he explicado.»²⁵

Para Descartes el universo era como un mecanismo gigante de relojería²⁶. El mundo se reduce a materia en movimiento. El programa mecanicista cartesiano se compone de unos pocos principios físicos y metafísicos, una serie de teorías auxiliares y datos de observación y unas normas epistemológicas, derivadas de sus principios metafísicos. Me serviré de la sistematización de los principios de la física cartesiana dada por Clarke²⁷, que luego integraremos en las partes del programa:

F1: La esencia de la materia es la extensión. La materia es infinitamente divisible; espacio y materia es lo mismo.

F2: Hay tres tipos de partículas, caracterizadas por sus propiedades geométricas, y cantidad de movimiento.

«El primer género (de materia) es esta especie de raspaduras [que deben haberse desprendido de las otras partes de materia al redondearse] que se mueven con tanta velocidad que la sola fuerza de su agitación es suficiente para hacer que al encontrar otros cuerpos sean deshechas y divididas en menudencias de infinita pequeñez y cuyas figuras han de ser tales que se acomoden a rellenar las angosturas de los ángulos que se encuentran alrededor de estos cuerpos. El otro género de materia está constituido por el resto de ésta, cuyas partículas son esféricas y muy pequeñas, en comparación de los cuerpos que vemos sobre la tierra pero de cantidad fija y determinada, sin embargo, y divisibles en otras mucho menores. Y encontraremos un tercer género, que consta de partes de materia, que por ser más gruesas y por su figura no son tan apropiadas para el movimiento como las precedentes.»²⁸

Las partes más gruesas forman los planetas, cometas, etc., los intersticios de ella, *el éter*, que forma los cielos y los intersticios del éter, la *luz*, que forma el sol y las estrellas fijas.

F3: Principio de inercia: «Cualquier cosa, en tanto que es simple e indivisible, siempre permanece en las mismas condiciones sin cambio a no ser que intervengan fuerzas externas».

²⁵ *Principios de la filosofía*, Madrid, Ed. Reus, 1925, IV, 206, p. 413.

²⁶ Lakatos: *La Metodología de los...* p. 66.

²⁷ D. M. Clarke: *La filosofía de la ciencia de Descartes*, Madrid, Ed. Alianza Universidad, 1986. p. 94.

²⁸ Cf. *Principios de la filosofía*, III, 52, p. 140. También: *El mundo. Tratado de la luz*, Madrid, Ed. Anthropos, 1989, pp. 83 ss.

F4: Principio de movimiento rectilíneo: «Ninguna porción de materia, considerada en sí misma, tiende a continuar su movimiento de forma curva, sino que lo hace en línea recta».

F5: El principio de conservación de cantidad de movimiento²⁹: «Cuando un cuerpo en movimiento se encuentra con otro, si éste tiene menos fuerza para continuar en línea recta que el otro para oponérsele, entonces es reflejado a otro lugar manteniendo su movimiento, aunque pierda la dirección del mismo; sin embargo, en caso de tener más fuerza que el otro objeto, entonces lo mueve consigo mismo y pierde tanto movimiento como el transmite al otro cuerpo».

El programa mecanicista cartesiano es un programa integral: pretende dar explicación mecánica no sólo del universo físico sino de todos los cuerpos, incluido el hombre. El *núcleo firme* del programa se expresa en parte en términos *científicos* (las tres leyes físicas mencionadas F3, F4, F5), en parte en términos *metafísicos generales del conocimiento* (evidencia de la existencia del sujeto pensante y demostración de la existencia de Dios). El *principio metafísico de la física*, F1, los *principios metafísicos mecanicistas* (teoría de los vórtices, acción por contacto, exigencia de matematización de lo real, etc.), así como su hipótesis empírica F2, consideramos que no pertenecen al núcleo. Los principios mecanicistas y F1 forman parte de la heurística.

En el *cinturón protector* cabrían incluirse muchas cosas: todo aquello necesario para hacer explicaciones y predicciones concretas de fenómenos sobre la base de las leyes fundamentales. Entre otros elementos lo integrarían: 1) su triple división de la materia, F2, que actuaría como una hipótesis empírica; el desplazamiento de los cuerpos, la propagación de la luz, etc. le llevó a distinguir diversos tamaños de materia. 2) El heliocentrismo copernicano que califica como mera hipótesis³⁰ por miedo a la inquisición. La hipótesis ptolemaica no explica ciertos fenómenos como las fases de la Luna y Venus, dice en los *Principios*. Las de Copérnico y Tycho, vista como meras conjeturas, son equivalentes, ambas explican los fenómenos, pero la de Copérnico es más simple y clara. La tierra es transportada por el torbellino del sol, y ella misma está en el centro de otro torbellino más pequeño que arrastra a la luna alrededor de ella y la hace girar cada 24 horas. Descartes como mecanicista no aceptaba órbitas elípticas, dice que los torbellinos son aproximadamente circulares. 3) Leyes particulares para explicar fenómenos concretos como la reflexión, refracción, sístole-diástole

²⁹ En *El Mundo* es la regla segunda y la formula así: «cuando un cuerpo choca con otro no puede transmitirle ningún movimiento a no ser que pierda él mismo una cantidad igual; ni puede tomar ningún movimiento de él, a no ser que incremente su movimiento en la misma cantidad». (XI,41).

³⁰ *Principios de la filosofía*, III, 17, 30, 44, pp. 117, 125 y 133.

del corazón, etc. 4) También pertenecen al cinturón los *diversos modelos* de torbellinos para ubicar la posición del sol, dado el gran número de torbellinos diferentes que hay. Descartes habla en los *Principia Philosophiae* de desigualdades en la ubicación del sol³¹. 5) Otra teoría auxiliar es su teoría corpuscular de la luz como un pulso o presión para la que propone en la *Dioptrica* tres modelos —el modelo de bastón, de cuba de vino y de pelota de tenis— con la que explica, en conjunción con las leyes ópticas mencionadas, por qué las estrellas no están situadas donde aparecen, por qué no se ven los cometas aun estando próximos a nuestro cielo, la refracción que produce la cabellera de los cometas, etc; 6) Datos de observación necesarios para hacer explicaciones y predicciones concretas.

La *heurística positiva* nos dice cómo modificar el cinturón protector para ajustar el programa a las observaciones. Como heurística positiva³² actúan algunos principios metafísicos como: 1) la materia se reduce a *res extensa* y ésta a materia en movimiento, F1, con lo que sólo son objetivas las cualidades primarias en los cuerpos; 2) la doctrina de los vórtices o *torbellinos* (fig.1) que arrastran en su movimiento a los astros y planetas, en el centro de los cuales está el sol,³³ exigida por su identificación de materia y extensión, que le lleva a negar el vacío y a exigir 3) que *toda acción y reacción de los cuerpos es por contacto*³⁴; éste es el principio heurístico más importante del mecanicismo y su etiqueta de identidad; 4) el requisito de matematización de las cualidades primarias³⁵ como pertenecientes a las cosas mismas. Ya hemos señalado más arriba en qué sentido los principios metafísicos pueden indirectamente contrastarse.

Como *heurística negativa* esos mismos principios desalentaban a que se trabajase en programas que admitiesen la *acción a distancia*. Fue el dardo que lanzaban contra los newtonianos, cuyas explicaciones eran ininteligibles para los cartesianos.

Una de las graves consecuencias de esa concepción era que la física quedaba reducida a *cinemática*, no habiendo lugar para la *dinámica celeste* de Kepler ni la dinámica de caída de los graves de Galileo. Para explicar ésta inventa un pequeño torbellino alrededor de la tierra que llega hasta la luna. Es la falta de tendencia centrífuga por lo que algunos cuerpos más ligeros son empujados hacia el centro por otros de mayor tendencia centrífuga. Las leyes de Kepler no son explicables por los torbellinos y mucho menos en el caso de los cometas.

³¹ *Ibid.* III, 73, p. 162.

³² Lakatos: *La Metodología de los ...* p. 66. También: *La crítica y la metodología de los programas de investigación científica*, Cuadernos Teorema, 38 (1981), p. 32.

³³ *Principios de la filosofía*, III, 65, p. 151.

³⁴ *Ibid.*, II, 64, p. 109. Tratado del Mundo, cap. VII, 111.

³⁵ *Meditaciones metafísicas*, 6ª, p. 67.

Era paradójico que Descartes, el creador de la geometría analítica, fuera incapaz de expresar en términos matemáticos sus leyes del mundo, teniendo que refugiarse en la fantasía de los torbellinos, incapaz de predicciones exactas.

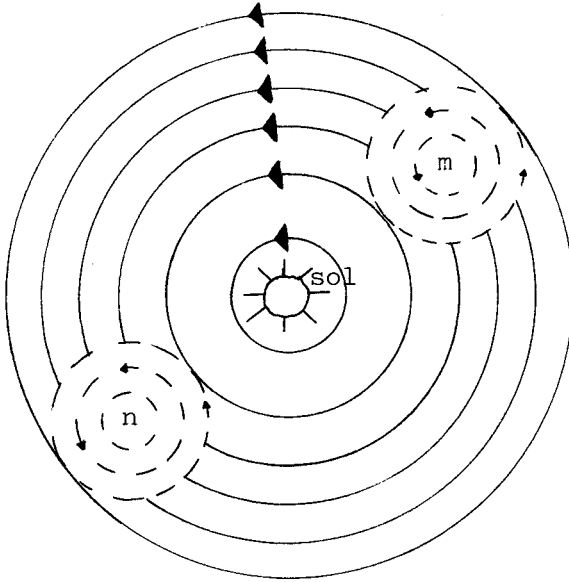


Fig. 1

Cada planeta está en el centro de un torbellino, sumergido en un *plenum* que llena todo el espacio. La rotación del torbellino es más rápida en el centro, lo que da al planeta el movimiento de rotación. Las partes periféricas del torbellino mueven a los satélites del planeta. Los torbellinos particulares de los planetas, aquí «m» y «n», están dentro de otro más grande que es el del sol, que los arrastra, representan en el gráfico torbellinos de dos planetas. La teoría explicaba por qué los planetas y satélites giran todos en el mismo sentido alrededor del sol, por qué el movimiento es más rápido hacia el centro del torbellino que en la periferia, por qué los cuerpos son arrastrados al centro del torbellino, los más ligeros son obligados por los más pesados a causa de su deficiencia de fuerza centrípeta, como se observa cuando se desagua una bañera, con lo que ya tenemos una explicación de la gravedad.

Descartes conserva algunos principios básicos del antiguo atomismo pero rechaza otros. Como se ha dicho, no era atomista, no admitía átomos

indivisibles sino la infinita divisibilidad de la materia, rechazaba el vacío³⁶ y negaba gravedad de los corpúsculos en sí mismos³⁷. Frente a Demócrito, ponía a Dios como causa del universo —la causa primera— aunque para explicar los fenómenos físicos hay que estudiar también las causas segundas, los efectos particulares de los cuerpos y sus leyes físicas que los regulan. Dios había creado la gran máquina del mundo y le había dado cuerda una vez; luego, ya no hacía falta su acción.³⁸ Conserva el que toda acción y reacción de los cuerpos es por choque, el mecanicismo para los cuerpos —no para el alma—, la teoría de los torbellinos para explicar los fenómenos celestes y la distinción entre cualidades primarias y secundarias, con el rechazo de las últimas.

Podemos preguntar si el programa cartesiano fue progresivo o degenerativo. Y hay que contestar que resultó un *programa degenerativo* porque, en lugar de generar una serie de teorías o versiones del mismo cada vez más potentes predictivamente o con mayor contenido empírico, no logró ni una sola nueva predicción exitosa y explicaba deficientemente muchos de los hechos conocidos en astronomía o física como las leyes de Kepler y la gravitación. Frente a él, el programa newtoniano (leyes del movimiento y gravitación) de la física tenía mayor *contenido empírico*, explicaba con precisión —salvo algunas serias anomalías, como el perihelio de Mercurio— todos los hechos conocidos de la mecánica y tenía mayor *poder heurístico*: fue prediciendo nuevos hechos trascendentes como la aparición de cometas, como el Halley, el descubrimiento de Neptuno, a mediados del XIX, etc. Podemos afirmar con Lakatos³⁹ que «Newton puso el primer programa de investigación científica de la historia humana».

El sistema de Descartes —en su nivel teórico más bajo— tenía cierta corroboración empírica y potencia heurística, en cuanto permitía predicciones y contrastaciones experimentales. Por ejemplo, sus dos primeras leyes (principio de inercia y tendencia al movimiento rectilíneo de los cuerpos) se corroboran indirectamente como el propio demuestra. La tercera ley, la de conservación de la cantidad de movimiento, tal como la formulaba Descartes, era muy general. La precisaba con 7 reglas adicionales, algunas de las cuales eran claramente falsas. Otro fallo estaba en que no consideraba la velocidad v como un vector sino como un escalar. Pero el resultado de un choque depende no sólo de la velocidad, sino de las direcciones de los cuerpos que chocan. Hoy sabemos que $p = mv$, la cantidad de movi-

³⁶ *Principios de la filosofía*, II, 16, p. 76. Se ha señalado, sin embargo, que en un extraño pasaje de los Principios, II, 34, Descartes por una parte afirma la continuidad de la materia y, por otra, exige, pequeños intervalos entre las partículas.

³⁷ *Ibid.* IV, 202, p. 407. Parece que tampoco Demócrito admitía peso en los átomos.

³⁸ *Ibid.* II, 36, p. 88.

³⁹ Lakatos: *La Metodología de los ...* p. 280.

miento es igual a la masa por el vector velocidad. Descartes decía que la suma de las masas de los cuerpos por sus velocidades era constante, o sea, $\sum m_i v_i = \text{constante}$. Por otro lado, muchas leyes particulares como su explicación del movimiento del corazón, reflexión, refracción, arco iris, etc. eran contrastables con la experiencia.

Su concepción de la materia como extensión continua y su división en tres clases homogéneas también ha sido desmentida por la química posterior. La diversidad de elementos químicos no se explica mediante la mera extensión. Por otra parte, según el actual conocimiento de la estructura de la materia, del átomo en concreto, parece pensable que hay elementos últimos indivisibles, que hasta hoy serían los seis quarks y seis leptones, los últimos ladrillos del universo. Su teoría de los torbellinos, que durante un tiempo rivalizó con la gravitación de Newton, también fue superada por ésta, al no poder competir matemáticamente. Entre otros defectos no daba cuenta de las leyes de Kepler, como se ha dicho. Newton demostró la inviabilidad de la teoría de los vórtices en el libro II de los *Principia*. Al comienzo del *Escolio general* muestra también las dificultades de la teoría de los vórtices para explicar la 2ª ley de Kepler y, sobre todo, de los cometas.

El mecanicismo cartesiano fue seguido por Boyle y Huygens, aunque con algunas diferencias, en el cinturón protector y en la heurística. Así, Boyle aceptaba el vacío y mostraba un espíritu más empirista que Descartes, aunque recurre eventualmente a la metafísica atomista, para explicar las causas de la condensación y rarefacción del aire. Huygens corrigió las leyes del choque cartesiano en sentido correcto y aplicó el mecanicismo cartesiano a la luz, explicándola como movimiento a través de ondas en un medio elástico que era el éter. Admitía el vacío y se diferenció de Descartes, además, en no aceptar la teoría corpuscular de la luz como éste. Podríamos decir que el mecanicismo en óptica representó, al contrario que en astronomía, un programa progresivo hasta finales del siglo XIX (experimento de Michelson-Morley) o principios del XX con el efecto fotoeléctrico (1905), en que ya no hay que postular el éter. En oposición a Huygens, la teoría de la luz de Newton —básicamente corpuscular, aunque aceptaba también la existencia de un éter discontinuo vibrante, lo que producía el carácter periódico de la luz— representó un programa degenerativo, tras la muerte de Newton, hasta principios de siglo (1921), en que se define la luz como una dualidad onda-corpúsculo (De Broglie).

Con Newton, de alguna forma, se pone fin al mecanicismo cartesiano o de choque en la mecánica y se sustituye por el suyo matemático, a principios de este siglo, en la óptica. Hoy podemos decir que el ideal de las explicaciones mecánicas de los fenómenos —por choque— pasó ya a la historia.

4. El mecanicismo cartesiano como paradigma kuhniano

Otra forma de clarificar la historia de la ciencia es en el marco de lo que Kuhn llamó *paradigma* o, posteriormente, *matriz disciplinal*⁴⁰.

Un paradigma, o mejor, una *matriz disciplinal*, consta de los siguientes elementos:

(1) *Generalizaciones*, es decir, leyes fundamentales de la teoría expresadas normalmente en lenguaje matemático, como, p. ej., $f=ma$; $I=V/R$, etc.

(2) Unos *principios metafísicos* muy generales, que proporcionan al grupo metáforas preferidas o permisibles, como el supuesto general que regía el paradigma de Newton durante el siglo XIX: «Todo el mundo físico se ha de considerar como un gran mecanismo regido por una serie de fuerzas que actúan según las leyes del movimiento de Newton». «Las moléculas de un gas se comportan como pequeñas y elásticas bolas de billar en movimiento azaroso», etc. Ayudan a determinar lo que será aceptado como una explicación o como una solución-enigma, e, inversamente, a determinar la lista de problemas sin solución.

(3) *Valores metodológicos* como exactitud en las predicciones, preferencia de predicciones cuantitativas a cualitativas, compatibilidad interna y externa, simplicidad, plausibilidad, etc. que constituyen el aspecto normativo del paradigma. Los valores pueden ser determinantes de la conducta de un grupo, aunque no todos lo apliquen de la misma manera.

(4) *Ejemplares paradigmáticos* que permiten la aplicación sucesiva del paradigma a casos parecidos. Son los problemas-soluciones que los estudiantes encuentran desde el comienzo de su carrera, ya en los laboratorios, ya en los exámenes, o al final de cada capítulo de los libros de texto.

Un paradigma, en suma, es un conjunto de presuposiciones que los científicos que cultivan una ciencia madura o normal han aprendido y mantienen tenazmente para resolver los problemas que se les presentan en el ámbito de esa ciencia.

4.1. Leyes generales

Aplicando al caso cartesiano la noción de paradigma, en cuanto al primer componente, o sea, a las *generalizaciones* del paradigma cartesiano en física, éstas son las que se han descrito en el capítulo anterior. Se trata de los principios de la física F2, F3, F4 y F5, no expresables matemáticamente, salvo el último, que ya señalamos que formuló incorrectamente. Aparte, Descartes emplea muchas leyes particulares, o incluso descubre alguna, como la ley de seno de la refracción de la luz, que expresa mate-

⁴⁰ Cfr. Kuhn, T [1962]: *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press. Posdata 1969. (La estructura de las revoluciones científicas. Méjico, FCE, 1971, p. 280).

máticamente y cuyo descubrimiento se atribuye por lo general a Snell.

4.2. *Metafísica*

La *parte metafísica* del mecanicismo ha sido ampliamente reseñada. En síntesis la forman F1, con la negación del vacío, su teoría de los vórtices, el principio de que toda acción y reacción entre los cuerpos debe ser por choque o contacto y el de que no existen más cualidades en los cuerpos que las primarias.

Nos detendremos más ampliamente aquí en el tercer *componente* del paradigma, especialmente, en la cuestión del método usado por Descartes en sus escritos científicos.

4.3. *Método y metodología*

En 1618 Descartes entró en contacto con Beeckman (1588-1637), maestro e ingeniero. Era atomista, lo que no le impedía llenar el espacio de una materia sutil que lo llenaba todo. Ambos quieren conjugar corpuscularismo y matemáticas, esto es, desarrollar unas matemáticas generales, que incluyeran ecuaciones algebraicas interpretables geoméricamente que dieran cuenta de los movimientos de los corpúsculos. Las *Reglas para la dirección del espíritu* muestran ese optimismo de Descartes por encontrar a priori dicha álgebra. Al final de ellas se dio cuenta de la imposibilidad del proyecto y dejó la obra inacabada. Cuando en el *Discurso del método*, parte II, trata de exponer sus principios metodológicos busca una base metafísica a sus principios científicos más que epistemológica (*cogito*, Dios, mundo).

Se hace inevitable distinguir con Clarke⁴¹ entre *Metodología* y *Método* en Descartes, entre su teoría y praxis científica, entre su metaciencia y su ciencia. En las *Reglas*, *El Discurso del Método* y algunos pasajes de los *Principia Philosophiae* expondría los principios de su metodología o teoría sobre el método en general. El método seguido en sus investigaciones, estaría en *El Mundo*, *Tratado de la luz*, *La Dióptrica*, *Meteorología*, los *Principia* y la mayoría de los cinco vols. de las *Oeuvres* de Adam y Tannery, dedicados a la correspondencia de Descartes.

¿Hasta qué punto es *a priori* o *experimental* el método de Descartes y hasta qué punto refleja su práctica científica su metodología? La respuesta a estas preguntas es de capital importancia para desmontar el mito de un Descartes apriórico-racionalista. Simplificando a Clarke cabrían estas posibilidades:

(I) Respecto al método, cabrían dos hipótesis interpretativas relevantes:

⁴¹ Cf. D. M. Clarke. *La filosofía de la ciencia de Descartes*. cap. 1.

(A) El método sería totalmente *a priori*, o sea, los principios y axiomas de la física se captan por intuición intelectual y, a partir de ellos, se derivan las explicaciones particulares.

(B) El método sería *a priori* y *a posteriori*, en cuanto los principios se obtendrían por intuición, pero sus consecuencias se comprobarían mediante la experiencia.

Respecto a la metodología, cabe la siguiente posibilidad plausible:

(II) La metodología sería *a priori* y el método, al menos en parte, *a posteriori*. Es decir: la metodología propondría un ideal (irrealizable) de conocimiento absolutamente cierto de la ciencia y en los *Principia* se habría propuesto llevar a cabo ese programa, donde los principios de la física serían *a priori*, según piden las *Reglas* y el *Discurso*. Esos principios serían obtenidos por intuición, pero, para su corroboración posterior, Descartes se habría visto obligado a usar la experiencia, con lo que su programa apriórico habría quedado en parte desvirtuado.

(III) Su teoría y práctica del método científico reflejaría el papel esencial de los procedimientos experimentales en la construcción y contrastación de hipótesis científicas.⁴²

Descartes tomaría, según Clarke, el lenguaje, los métodos, y aun las confusiones inherentes, de la metodología aristotélica. *La certeza derivada de la reflexión sobre la experiencia es la característica dominante en la ciencia cartesiana.*

4.3.1. ¿Se deriva la física cartesiana de la metafísica?

Una cuestión clave en el contexto de la discusión en curso es si la física cartesiana puede derivarse de la metafísica directamente, como usualmente se dice en los manuales sobre el filósofo francés. Clarke ha argumentado muy sólidamente que no. Para Descartes la metafísica o primera filosofía se ocupa de la investigación de las primeras causas o principios, de los que puede deducirse el conocimiento de las demás cosas existentes en el mundo⁴³. La metafísica, pues, se ocupa de los primeros principios del conocimiento —que incluyen el conocimiento de Dios, del alma y el mundo—, que son conocidos mediante la luz natural de la razón, independientemente de la experiencia.

En el Prefacio a la edición francesa de los *Principia* usa el conocido símil de que la filosofía es como un árbol, cuyas raíces son la metafísica, el tronco la física y las ramas, las ciencias particulares: medicina, mecánica y moral. Ello es congruente con el tipo ideal de explicaciones cartesianas a

⁴² Esta es la opinión de Clarke, *Ibid.*, p. 25.

⁴³ Cf. Prefacio de los *Principios de la Filosofía*, pp. 15, 19.

priori, llamadas *propter quid* por la escolástica, es decir, aquellas que van de las causa al efecto, de los principios a las consecuencias.

En el *Discurso del Método*⁴⁴ dice que ha procurado encontrar los principios o primeras causas de todo lo que hay en el mundo, no considerando a este efecto más que a Dios solamente que las ha creado y habiendo sacado tales verdades de su alma. Luego, ha estudiado los efectos primeros y más simples que se deducían de esas causas y así ha explicado la tierra y los cielos pero, al descender a las cosas más particulares, viendo que había muchos efectos compatibles con los principios generales, se ha visto en la necesidad de recurrir a experiencias particulares para explicarlos. «Las *Meditaciones* contienen todos los fundamentos de mi física» (Carta a Regius, 1640). Al final de la *Meditación quinta* dice que «la certeza y verdad de toda ciencia dependen únicamente del conocimiento del verdadero Dios, de modo que antes de conocerle, no podía yo saber nada con perfección y, ahora, conociéndole, poseo el modo de adquirir una ciencia perfecta sobre infinitud de cosas». En los *Principia*, edición latina de 1644, indica que las explicaciones físicas deberían deducirse del conocimiento de Dios, que lo mejor es, una vez conocido éste, pasar al conocimiento de las cosas que ha creado, es decir, al conocimiento de los efectos por sus causas (I, 24). Considerando que Dios es la causa eficiente de todo, examinaremos lo que la luz de nuestra finita razón nos demuestre clara y distintamente respecto a aquellos efectos que aparecen a nuestros sentidos y no contradigan lo revelado por Dios (*Principia*, I, 28). Lo mismo dice al final casi de la carta al traductor francés de los *Principia*, que precede a éstos: toda la física se apoya sobre algunas verdades metafísicas.

¿Cuáles de los siguientes modelos lógicos L encajan mejor con la supuesta «deducción» de la física cartesiana a partir de la metafísica? Clarke demuestra que ninguno de ellos da cuenta.

L1: $M \rightarrow F$ es necesario, o sea, $L (M \rightarrow F)$.⁴⁵

L2: $M \wedge I \rightarrow F$ es necesario, o sea, $L (M \wedge I \rightarrow F)$.

L3: $M \wedge E \rightarrow F$ es necesario, o sea, $L (M \wedge E \rightarrow F)$.

L3: $(M \wedge I) \wedge E \rightarrow F$ es necesario, o sea, $L [(M \wedge I) \wedge E \rightarrow F]$

En *El mundo. Tratado de la luz*, justifica la primera regla⁴⁶ diciendo que ha sido aceptada desde los antiguos, con la excepción de que ellos no aceptaron la conservación del movimiento, que es lo que Descartes quiere

⁴⁴ *Discurso del método, Dióptrica, Meteoros y Geometría*. Madrid, Ed. Alfaguara, 1986 2ª ed., parte 6ª, p. 46. Véase la cita correspondiente a la nota 48 más abajo.

⁴⁵ Las letras significan lo siguiente: M= La suma de los principios metafísicos relevantes. I= La suma de proposiciones relevantes garantizadas por intuición intelectual. E= La suma de proposiciones relevantes empíricas. F= Los 5 principios de la física mencionados. L= es necesario (operador modal).

⁴⁶ *El mundo. Tratado de la luz*, Trad. en Ed. Alhambra, pp. 111 ss.

fundamentalmente recalcar. La regla segunda, el principio de conservación de la cantidad de movimiento, (tercera en los *Principia*), es presentada como hipótesis corroborada por todas las *experiences* en que vemos que un cuerpo empieza o cesa de moverse porque ha sido impelido o detenido por otro y fundada en la inmutabilidad divina: «pero aunque todo lo que nuestros sentidos han experimentado en el mundo verdadero pareciera ser manifiestamente contrario a lo que contienen estas dos reglas, la razón que me las ha dictado me parece tan fuerte que no puedo dejar de suponerlas en el nuevo mundo que os describo. ¿Qué fundamento más firme... que la inmutabilidad de Dios?»⁴⁷. Dios es inmutable y comunicó a las cosas una determinada cantidad de movimiento, que es siempre en su-conjunto la misma, por más en que las partes de ella haya unas veces más y otras menos. La tercera regla, el movimiento rectilíneo, es confirmada empíricamente y fundada en la inmutabilidad de Dios también. Dios conserva lo que existe tal como es en un instante dado, conserva el movimiento rectilíneo, mientras el no lineal necesita de otras causas.

En *El Mundo*, no está claro en absoluto que deduzca la física de la metafísica en el sentido de L1. F1 no aparece, el equivalente de F2 es presentado como hipótesis empírica. F3, F4 y F5 son garantizados primero por evidencia empírica y luego corroborados metafísicamente. Queda ambigua la relación física-metafísica.

En los *Principios de la filosofía*, F1 no es propuesta como analítica. Tiene un valor metodológico: rechazar la acción a distancia y exigir explicaciones mecánicas de los fenómenos. F2 es una hipótesis empírica. La justificación de las tres leyes en los *Principios* (F1 en la fórmula II, 37; F2 en II, 39; F3 en II, 41) implica una combinación de análisis conceptual, corroboración empírica y explicación metafísica. La explicación de los movimientos de las partículas de la materia implica dos causas: una primera y universal (Dios) y las causas segundas concretas. Visto como Descartes justifica en *El mundo* y los *Principios* las leyes F1-F5, ¿hasta qué punto los modelos lógicos L1-L4, representan fielmente los esfuerzos de Descartes por proporcionar fundamentos metafísicos para F1-F5?

F1 podría clasificarse como metafísico o ejemplo de caso fronterizo entre metafísica y física, como metafísico y metodológico. Se justificaría en términos de L1. F2 es una proposición empírica e hipotética para Descartes. ¿Qué ocurre con F3-F5? ¿Se justifican según L1? Hay buenos argumentos, piensa Clarke, para no pensar que Descartes los construye como deducción lógica de principios metafísicos. Descartes admite, en principio, la posibilidad de error de la física, como hemos visto, lo que llevaría, en el caso de ser realmente así, al rechazo de la metafísica por contraposición

⁴⁷ *Ibid.* p. 121.

lógica. Pues, si $M \rightarrow F$, y tenemos $\neg F$, de ahí se deduce $\neg M$ por *modus tollens*. Pero esto es inadmisibile para Descartes. Hay que relajar el concepto de deducción entre metafísica y física, por tanto. Para Descartes, cualquier proposición que relacione apropiadamente proposiciones acerca de causas con proposiciones acerca de efectos es denominada deducción, cualquiera que sea la relación lógica entre ellas.

Además, ya hemos apuntado a que Descartes, en el *Discurso*, parte VI, dice que los principios los demuestra a partir de Dios, pero que los efectos compatibles con ellos son lógicamente muchos y hay que descubrirlos experimentalmente, lo que implica que no son deducibles las leyes físicas concretas de la sola metafísica.

F3-F5 son confirmados por numerosos tipos de argumentos que son tan sólo parcialmente explicados por L3 y L4, sustituyendo en cada caso la implicación estricta por algún lazo deductivo menos riguroso. La interpretación menos plausible es L1. Descartes no tiene éxito en deducir los principios físicos de los metafísicos, con la excepción tal vez de F1. «Deducir» y «demostrar» no significan lo mismo para Descartes que para el lector de hoy, no se trata de una deducción estrictamente lógica.

La metafísica, en definitiva, proporciona el marco teórico general de la física, del que emanan hipótesis o leyes que hay que corroborar con la experiencia, con ayuda, eventualmente, de la intuición. Si Descartes no tuviera sentidos, por razones puramente metafísicas, no hubiera formulado los principios en la forma concreta en que lo hizo. De la inmutabilidad de Dios se podría deducir a priori principios bastante diferentes a los que rigen el universo actual. No puede deducir, p. ej., que todo cuerpo tiende a moverse en línea recta, pues se podría pensar en un mundo en que sólo hubiese movimientos inerciales circulares.

4.3.2. *Explicaciones cartesianas*

Explicar y predecir son las dos funciones básicas de la ciencia. Toda la historia de la metodología desde Aristóteles hasta hoy se ha ocupado del problema de la justificación o, cuando menos, del descubrimiento de las afirmaciones generales, especialmente teóricas, y del de la deducción de otras particulares o singulares a partir de ellas, desarrollando diversas teorías del método.

¿Qué tipo de explicaciones busca Descartes? Dada su concepción unitaria del saber, busca explicaciones últimas, metafísicas, siguiendo el ideal de Aristóteles, explicaciones a priori en el sentido de la Escuela, de la causa a los efectos. En general el mecanicismo no se conforma con descripciones de los fenómenos, sino que aspira a encontrar las causas subyacentes a los mismos recurriendo a la metafísica mecanicista del choque y a Dios.

Descartes concibe el método axiomático deductivo como el ideal para derivar todas las verdades que la razón es capaz de alcanzar (Regla III de las *Reglas*). Partiendo de unos principios metafísicos que considera intuitivos de modo evidente, intenta desgranar los principios fundamentales de su física y el marco general teórico mecanicista en que se funda. Pero, en algún momento, la cadena deductiva falla y tiene que ir a la experiencia para fundamentar sus conjeturas y rellenar los eslabones que la metafísica no le suministra. Cuando se trata de describir y dar explicación de fenómenos concretos, se ve obligado, en definitiva, a emplear métodos empíricos como el hipotético-deductivo para decidir entre hipótesis rivales o el de análisis-síntesis. Se ve esto claramente en un pasaje a que hemos aludido ya del *Discurso*, parte 6ª.

«El orden que he seguido en mis estudios ha sido éste: inicialmente, he procurado encontrar, en general, los principios o primeras causas de todo lo que es o puede ser en el mundo, sin considerar para este efecto más que a Dios solo, que lo ha creado, ni sacarlas de otro origen que de ciertas semillas de verdades que están naturalmente en nuestras almas. Después he examinado cuáles eran los primeros y más ordinarios efectos que se pueden deducir de estas causas; y me parece que, por ese medio, he encontrado la explicación de los cielos, los astros, una tierra, y también sobre la tierra, agua, aire, fuego, minerales y algunas otras cosas que son las más comunes de todas, las más simples y las más fáciles de conocer. Luego, cuando he querido descender a las más particulares, se me han presentado tantas y tan diversas, que no he creído que fuese posible al espíritu humano distinguir las formas o especies de los cuerpos que hay sobre la tierra, de una infinitud de otras que podrían existir si Dios hubiera querido ponerlas... a no ser que salga al encuentro de las causas por los efectos y que nos sirviéramos de muchas experiencias particulares... Pero es preciso también que reconozca que la potencia de la naturaleza es tan vasta y tan amplia, y que sus principios son tan simples y tan generales, que no observo casi ningún efecto particular que de antemano no conozca que puede deducirse de ellos en muy diversas formas, y que mi más grande dificultad es, por lo común, encontrar, por cuál de esas formas concretas depende de esos principios; pues, para esto no hallo otro remedio a esta dificultad que buscar de nuevo algunas experiencias, que sean tales que su resultado no sea el mismo, sin la explicación que hay que dar: si es en una de esas formas o si es en la otra.»⁴⁸

⁴⁸ *Discurso del método*,..., parte 6ª, p. 46. También *Principios de la filosofía*, III, 4, p. 113.

El *esquema, lógico sui generis*, de las explicaciones cartesianas sería aproximadamente éste:

(1) *Principios Metafísicos generales del Conocimiento* (PMC: existencia del yo, existencia de Dios) & *Principios Metafísicos propios de la Física* (PMF: F1) implican estrictamente el *Marco General de la Física* (MGF: F3 y F5 de modo general)

(2) PMC & PMF & MGF & *experiencias concretas* corroboran los *principios físicos* PF (F2, F4, F3 y F5 restringidos)

(3) PMC & PMF & MGF & PF & *experiencias concretas* corroboran leyes particulares como la reflexión, refracción, movimiento corazón, etc.

La implicación estricta sólo vale entre leyes particulares y datos de observación que confirman la ley o entre metafísica y algunas leyes físicas muy generales, como hemos visto. No debe olvidarse que Descartes busca explicaciones a priori, de las causas a sus efectos, y que una auténtica explicación de un fenómeno concreto, como el movimiento del corazón, p. ej., requiere el recurso a principios mecánicos para él.

Más esquemáticamente podríamos representar así las explicaciones cartesianas:

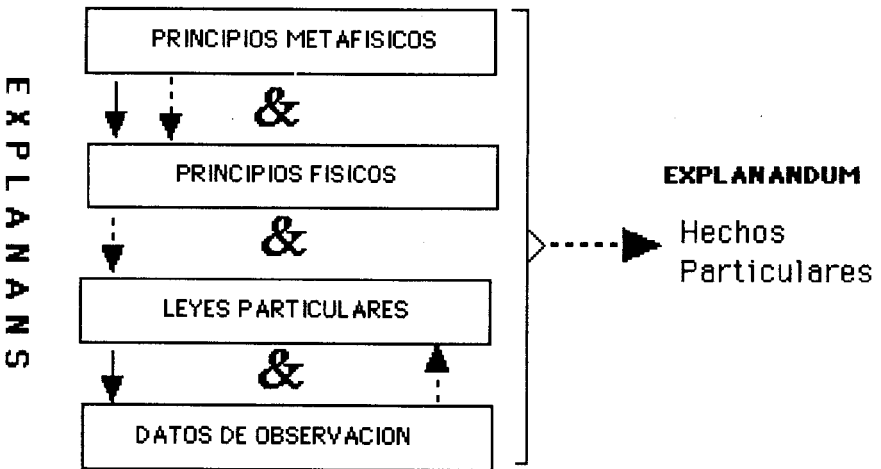


Fig. 2

La flecha continua indica implicación lógica estricta, mientras la discontinua implicación lógica sólo parcial, en sentido laxo. El paso de la metafísica a los principios físicos es, en parte lógica estricta, en parte sólo parcial, como se ha dicho. En la implicación lógica estricta el antecedente

garantiza totalmente el consecuente; en la parcial sólo en cierto grado. La fuerza de la implicación parcial depende de la fiabilidad de la evidencia del antecedente. En este esquema hemos omitido señalar hipótesis auxiliares que, obviamente, son necesarias para deducir incluso en el primer nivel, en el paso de la metafísica a la física.

4.3.2.1. *Explicación por experimento crucial*

Cuando trata de descubrir leyes o explicar fenómenos particulares, Descartes debe recurrir al método hipotético-deductivo, rompiendo entonces el eslabón en la cadena puramente deductiva, y sus hipótesis cree verificarlas por la observación dentro de su marco teórico general: el mecanicismo. En la parte V del *Discurso* contrasta su hipótesis sobre el movimiento del corazón frente a la rival de Harvey mediante el método hipotético en una especie de experimento crucial. Hay una disparidad en el *Discurso* entre la parte II, donde enuncia sus 4 reglas de marcado carácter deductivista matemático, y el método que describe en VI, mucho más hipotético experimental, como se ve en la larga cita que hemos hecho en la sección anterior. De otra parte, en la *Dióptrica*, en la jornada segunda, donde discute la refracción y en *Los Meteoros* (estudio del arco iris), aplica el método de análisis-síntesis. Descartes se ve obligado a admitir que los sentidos, controlados por la razón, son necesarios para la explicación de los fenómenos físicos, allí donde la *intuición* no es posible.

Acepta que Harvey es el descubridor de la circulación sanguínea. Ambos están de acuerdo en los hechos principales en torno a ella: la sangre sin oxígeno que retorna de todo el cuerpo llega a través de la vena cava a la aurícula derecha y por medio del ventrículo derecho del corazón se dirige por medio de la arteria pulmonar hasta los pulmones para ser oxigenada de nuevo; y la sangre oxigenada vuelve a través de la vena pulmonar a la aurícula izquierda del corazón; luego, a través del ventrículo izquierdo emerge de nuevo a través de la aorta a todo el organismo. Sin embargo, la causa de la circulación es distinta para ambos, siendo Harvey quien da la solución correcta: mediante la sístole el corazón se contrae y expulsa la sangre y mediante la diástole se expande y entra ésta de nuevo en él. Para Descartes ocurre al revés: la sangre venosa entra de gota en gota por el lado derecho y produce una efervescencia en éste debido a su temperatura interna más elevada, lo que produce la expulsión de la sangre a los pulmones. Luego, al contraerse penetra de nuevo la sangre. Descartes, pese a su error, justifica su posición por *observación, mecánicamente y matemáticamente*.

«Aquéllos que no conocen la fuerza de las demostraciones matemáticas... no se aventuren a negar todo esto sin haberlo examinado... es

consecuencia de la sola disposición de los órganos del corazón que pueden ser vistos y del calor que puede sentirse con los dedos y de la naturaleza de la sangre que puede ser conocida por observación, de igual forma que el movimiento de un reloj es consecuencia de la fuerza, situación y figura de sus contrapesos y ruedas.»⁴⁹

4.3.2.2. Explicación mediante modelos

En el primer discurso de la *Dióptrica* nos ilustra cómo se propaga la luz con tres modelos diferentes: el de un bastón de ciego, la cuba de vino y las pelotas de tenis. La luz es un pulso o presión de las partículas de materia luminosas, el primer elemento, que se propagan a través de los intersticios del segundo, pequeñas bolas diminutas, el éter, que forman los cielos. La luz consiste en movimiento de partículas y sigue las mismas leyes que él. En el segundo discurso discute la ley de refracción de la luz $\text{sen } i / \text{sen } r = k$, la llamada ley de los senos, mediante el modelo de pelota de tenis, descubierta también por Snell independientemente. Aplica el método de análisis-síntesis⁵⁰ que aquí comporta el uso de analogías o modelos, el uso de la observación inductiva para derivar la ley y el empleo de la deducción para su comprobación. El análisis concretamente comporta: prescindir de definir qué es la luz —sólo le interesa cómo se propaga a través de distintos medios—, el uso de modelos, en este caso compara el rayo de luz con la trayectoria de una pelota impulsada por una raqueta que choca contra una tela horizontalmente colocada, la suposición de una velocidad distinta de la luz en distintos medios, contra la infinitud de su velocidad que afirmaba en otras partes, la distinción entre dos tipos de movimiento de la pelota, uno inercial horizontal y otro perpendicular debido al impulso dado a la misma, la descripción geométrica del rayo de luz y de la ley del seno, y la corroboración experimental de la misma.⁵¹

La síntesis consiste en la reconstrucción del puzzle, desde la ley al *explanandum*, o sea, a instancias o casos concretos de la misma.

Descartes emplea, frecuentemente, modelos que sustituyen a la realidad para explicar sus teorías. Para justificar, p. ej., por qué los cuerpos pesados caen al centro de la tierra, dice que se pongan mezclas partículas ligeras y pesadas en una vasija y hágasela girar y se verá que las partículas gruesas empujan a las pequeñas al centro. El valor probatorio de tales modelos es lógicamente escaso. El esquema explicativo sería:

Para explicar O se construye la hipótesis H

O' es similar a O

⁴⁹ Discurso, p. 37.

⁵⁰ Cf. Clarke, *Op. cit.* pp. 185-86.

⁵¹ Descartes: *Discurso...*, pp. 74-75.

decir, es infalible. Contrasta, pues, con muchas filosofías de la ciencia pragmatistas y holistas dominantes en la actualidad e inspiradas en el segundo Wittgenstein, para las que la verdad es resultado de un acuerdo colectivo de la comunidad de científicos. Descartes no sólo aspira a saber, sino a saber que sabe. Popper, en contraste, dirá que somos buscadores de la verdad, no sus poseedores.⁵⁴ La infalibilidad de la razón se queda reducida, sin embargo, a los principios más elementales, y tal vez ni aun a éstos, por lo que Descartes no puede evitar servirse de la experiencia y el conocimiento conjetural. Una cosa es su programa y otra bien distinta su puesta en práctica.

Habría que distinguir entre sus principios metafísicos absolutamente seguros y aquéllos de entre los físicos que también lo son, de aquellas leyes y principios que tienen sólo certeza moral. Acerca de los primeros mantiene una actitud *realista*, afirma que son absolutamente verdaderos. La concreción de los remolinos de los planetas y el sol, la propia hipótesis de Copérnico, en general todo lo que es objeto de certeza moral, es susceptible de ser de otro modo, por lo que mantiene ante ello una actitud *instrumentalista*, conjetural.

4.4. Ejemplares paradigmáticos

En cuanto al cuarto elemento del paradigma mecanicista, los *ejemplares* o casos tipo con que trabaja Descartes, podemos decir que éste no se limita a un tipo de fenómenos físicos o materiales, siendo el tema de la naturaleza de la luz, los movimientos planetarios, el arco iris y el movimiento del corazón algunos de los más tratados por nuestro autor.

II. ROBERT BOYLE (1627-1691)⁵⁵

Pasamos a un autor, en el que el peso del experimento es muy grande en relación al de la teoría. Estamos bastante alejados de Descartes y del propio Galileo, en cuanto a la importancia que se da en el método a lo empírico y a lo teórico, aunque esto no debe exagerarse más allá de lo razonable, ya que los tres autores, incluido Descartes, recurren a la experiencia en apoyo de sus teorías físicas.

Boyle fue un cultivador del método baconiano del saber. Su fama se debe a la llamada ley Boyle. La evaluación por los contemporáneos es dispar. Así, Joseph Glanville, de la Sociedad Real de Londres, hace de él

⁵⁴ K.R. Popper: *Conocimiento objetivo*, Madrid, Ed. Tecnos, 1982², p. 53.

⁵⁵ Cfr. Boyle, R.: *Física, Química y filosofía mecánica*. Madrid, Ed. Alianza, 1985. Cf. introducción de Carlos Solís. Cf. T. Birch (ed.): *The Works of the Honourable Robert Boyle*. London, 1772. 6 vols.

los máximos elogios. Leibniz, en cambio, decía en una carta a Huygens: «me extraña que el Sr. Boyle, quien tantas bellas experiencias tiene, no haya llegado a alguna teoría... lo único que concluye es lo que todos sabemos, que todo se hace mecánicamente»⁵⁶. Quienes infravaloran su obra son, sobre todo, grandes matemáticos, creadores de la física matemática moderna.

Lo que separa a la tradición baconiana de la erudita matemática en relación al experimento es que la primera relata con detalle los experimentos, lo que prueba que se realizaban, cosa discutible, a veces, en la otra, que usan, frecuentemente, experimentos mentales. Para Boyle, los hechos son sagrados, deben ser repetibles. La teoría viene después y es opinable.

Entre los campos en que trabajó Boyle está la *pneumática*, ciencia que se fragua en la 2ª mitad del siglo XVII y trata de la naturaleza, peso y presión del aire y sus efectos. Se organiza en torno a *dos instrumentos*: el tubo de Torricelli y la campana de vacío. En el siglo XVII se disponía ya de los conceptos de *presión y equilibrio* de fluidos y teoremas, como que la presión en un punto del interior de un líquido depende de la altura y no de la forma o volumen de la vasija, etc., que serían aplicables al aire tan pronto como éste se concibiera como fluido, como hizo Torricelli.

A continuación nos referiremos a algunos experimentos que ilustran el inductivismo baconiano de Boyle, la casi ausencia de teorización y el lujo de detalles de los experimentos. A veces, sin embargo, como cuando repite el experimento de Torricelli en las más variadas circunstancias, más que de inductivismo baconiano puro, se trata de contrastar una hipótesis ya conocida bajo la mayor variedad de circunstancias posibles.

5. El experimento XVII⁵⁷

Boyle proyecta llevar a cabo el experimento de Torricelli en la campana de vacío (fig. 4). Si la razón de que la columna de mercurio se mantenga elevada unos 27 dedos (75 cm.), es que el cilindro de mercurio del tubo se halla en equilibrio con el aire que va del mercurio adyacente hasta la parte superior de la atmósfera, en la campana de vacío debería descender (supone) por debajo de los 27 dedos en proporción a la extracción de aire. Mientras el aire está encerrado en la campana, está comprimido y con la misma presión que fuera, y el resultado del experimento de Torricelli es como fuera de ella, pero ¿qué pasa si se saca el aire de la campana? Imagínese, dice, una esfera de vidrio, abierta por arriba para pasar el tubo y la

⁵⁶ C. Solís, *Ibid.*, p. 10.

⁵⁷ De su libro *Nuevos experimentos físico-mecánicos relativos al resorte del aire y sus efectos, realizados en mayor parte en una nueva máquina pneumática*. Oxford, 1660. Cf. Boyle, *Op. cit.*, pp. 51 ss.

vasija de mercurio, luego se cierra bien por arriba con diaquilón fundido y se empieza a extraer el aire descendiendo el émbolo de una bomba extractora de aire. La columna va bajando conforme se va haciendo el vacío, pero no del todo, porque siempre queda un poco de aire que lo impide. Luego, se invierte el experimento, esto es, se va abriendo la llave y el aire entra de nuevo y va subiendo la columna. De pronto se deja entrar todo el aire del exterior y la columna de mercurio sube casi hasta el punto inicial (menos 6.3 mm.). Lo cual se debe a partículas de aire que hay entre el mercurio. *Detalles del experimento:* cuando se tapa con diaquilón un extremo del tubo en vez de sellarlo, baja la columna aunque no se extraiga aire. Una entrada de aire brusca, cuando había bajado el mercurio, amenazaba con romper el vidrio.

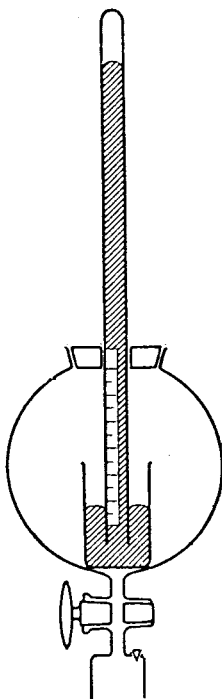


Fig. 4

Hace el experimento también en una campana pequeña y el resultado es similar. Se hace el experimento asimismo en un tubo de mercurio menor. Introduce aire, en otro nuevo experimento, con la bomba de vacío y el mercurio sube más de los 27 dedos habituales.

Acerca de si del experimento se infiere si hay *vacío* o no, dice que no interviene en ese debate formal por falta de tiempo y capacidad. Ve dificultosas ambas posiciones. Pero, de hecho, parece defender el vacuismo y unas partículas mínimas, *minima naturalia*, frente al plenismo de Descartes, al que acusa de basarse en su noción de cuerpo, como algo que ocupa extensión, para negar el vacío; lo cual es una razón metafísica más que física.

10. El experimento relativo a la fuerza del resorte del aire

Otro experimento⁵⁸ mecánico importante es el relativo a la fuerza del resorte del aire comprimido y dilatado realizados contra F. Linus, S.J., que negaba que la presión atmosférica fuese capaz de equilibrar un cilindro de mercurio de 29 pulgadas en el experimento de Torricelli. En contra de ello, afirmaba que había un cordón, un *funiculus*, de mercurio enrarecido encima de la columna de mercurio que sostenía a éste. Boyle se propone mostrar que el resorte del aire, cuando se comprime, es mucho más potente que para sostener una columna de 29 pulgadas. Puede sostener 100 ó más pulgadas de mercurio, y aún mucho más, si se dispusiese de tubos de vidrio suficientemente resistentes.

El experimento consiste en coger un tubo en forma de sifón, con un brazo corto cerrado, mientras el otro es mucho más largo y abierto (fig. 5). Se echa mercurio sólo en la curva del sifón, de forma que el mercurio quede a nivel, a igual altura en los dos brazos. Donde termina la altura de mercurio en ambos brazos empieza una escala graduada en pulgadas hacia arriba a lo largo del tubo. Luego se echa mercurio por la parte abierta hasta que la columna asciende 29 pulgadas (73.6 cm.), la altura en el experimento de Torricelli. El aire se comprime hasta la mitad de su espacio. Con ello la columna de aire encerrado sostiene una altura de 29 pulgadas de mercurio más el cilindro de aire de la atmósfera. Si se comprime el aire a la cuarta parte del inicio, su resorte es de cuatro veces mayor que el del aire común y hará falta una columna de mercurio proporcional para equilibrarla. Los resultados los ilustra anotando en cinco columnas lo siguiente: en la A, cómo se va reduciendo el aire en el brazo corto del tubo, de 48 pulgadas iniciales a 12 en un experimento, y 12 a 3 pulgadas en otro, o sea, a 1/4 de su volumen original; en B, la altura



Fig. 5

⁵⁸ Boyle, *Ibid.*, p. 71.

gradualmente ascendente de la columna de mercurio del brazo largo del tubo; en C, la altura del tubo de mercurio que equilibra la presión de la atmósfera, o sea, 29 1/2''; en D la suma de B y C, o sea, la presión sopor-tada por el aire encerrado y en E, esa presión calculada según la ley de Boyle. La concordancia entre predicción y observación es casi total.

Para explicar la rarefacción y condensación del aire, la luz, y el calor⁵⁹ sugiere dos teorías (contra el jesuita F. Linus que afirmaba que, aunque el aire tiene peso y resorte, éstos son insuficientes para dar cuenta de los fenómenos que ocurren en el experimento anterior: que la columna de mercurio se eleve 29 pulgadas en el brazo largo por encima del nivel inicial, reduciéndose el volumen del aire comprimido en el corto a la mitad del inicial), la primera vacuista, atomista, cita a Epicuro en su apoyo, y la segunda plenista, cartesiana.

Según la primera, las partículas de aire son láminas enrolladas como un resorte o aro (fig. 6). Todas poseen la misma longitud, si bien unas son más fuertes que otras. Cada partícula así enrollada posee un movimiento circular innato, de manera que puede describir una esfera de diámetro igual al suyo. Mediante este movimiento circular, las partes de las láminas que tratan de alejarse del centro o eje de su movimiento adquieren un impulso hacia afuera como el resorte de un reloj, desarrollándose hasta desplegarse en toda su longitud. Si se hallasen por todas partes rodeadas de otras similares, no podrían hacer tal cosa sin apartarlas, pues carecerían de espacio suficiente para tal movimiento. Sin embargo, al tener espacio para moverse, debido a su movimiento circular, chocan unas con otras, precisando más espacio para realizar sus movimientos. Esto se ilustra en la siguiente figura de Boyle:

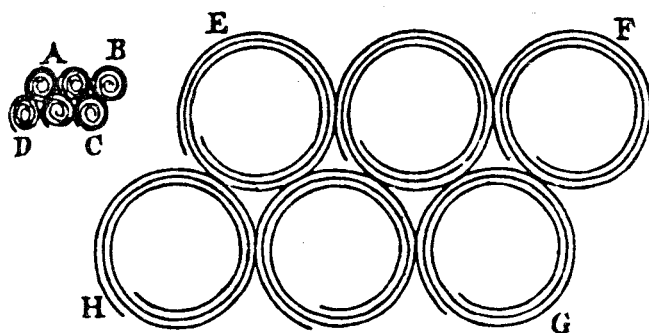


Fig. 6

⁵⁹ Boyle, *Ibid.*, cap. 3.

Según la explicación cartesiana, el aire consta de partículas largas, delgadas y flexibles que giran en vórtices agitadas por el movimiento rápido de las esferas del segundo elemento y la materia sutil del primer elemento. Cuanto más rápidamente giran, más desenroscan sus partes flexibles y mayor resistencia ofrecen al ingreso de otras partículas así agitadas en su vórtice. Cuanto menos son agitadas, menos se desenroscan y menor resistencia ofrecen, como ocurre con las que están próximas a la tierra, en el centro del vórtice, que han de soportar una gran presión.

En el primer modelo, si eliminásemos el desplazamiento de las láminas, estaríamos ante un modelo *estático* de los gases, como defendiera el propio Newton, aunque éste lo explicaba por repulsión entre las partículas de aire. Pero, en realidad, se trata de un modelo que anticipa el de D. Bernoulli (s. XVIII), el llamado modelo *cinético*, según el cual las moléculas del gas chocan entre sí y con las paredes de las vasijas que los contienen, lo que produce la presión del gas. El segundo modelo es también cinético. El que Boyle proponga dos modelos antagónicos en cuanto al vacío para explicar esos fenómenos, indica el carácter baconiano de su metodología, conciliadora en cuestiones teóricas y centrada en el experimento. Para Boyle⁶⁰ hay gran coincidencia entre la filosofía cartesiana y atomista, pues, pese a las diferencias, explican los fenómenos mediante cuerpos pequeños de diversas figuras y movimientos, de forma comprensible, frente a los peripatéticos que lo hacen de forma incomprensible, recurriendo a las formas sustanciales. Una persona conciliadora podría tomar a ambas filosofías como la misma, pues las dos explican los fenómenos a partir de la materia y el movimiento. Difieren en la noción de cuerpo, en la aceptación o no del vacío, en el origen del movimiento, en la divisibilidad de la materia.

11. La metafísica mecanicista de Boyle como parte de su programa de investigación

Boyle⁶¹ asume las hipótesis, como él dice, o *teoría corpuscularista* en 8 puntos:

(1) Hay una sustancia universal común a todos los cuerpos, extensa, divisible, impenetrable.

(2) La diversidad de los cuerpos procede del movimiento de sus partes. El movimiento es la afección primaria de la materia. El origen del movimiento es objeto de disputa (Para los antiguos es congénito a la materia; según Descartes Dios es el origen del mismo).

⁶⁰ Boyle, *Ibid.*, p. 190.

⁶¹ Boyle, *Ibid.*, p. 193.

(3) Aparte de los dos principios universales: materia y el movimiento, la materia, que es divisible en partes, como efecto genuino del movimiento, posee dos atributos o accidentes inseparables (afecciones primarias también) de cada parte de la materia: tamaño o magnitud y forma o figura. Las relaciones no pertenecen a la entidad de las cosas (Ejemplo de la cerradura y la llave, que en sí mismas cada una no son más que materia con esos atributos. El hecho de ser congruentes la una con la otra no es algo distinto de esas cualidades). Todo se reduce a esos atributos mecánicos.

(4) Aparte de los atributos de los corpúsculos: materia, movimiento, tamaño y figura hay otros dos accidentes o eventos: posición y orden de los corpúsculos.

(5) Las cualidades sensibles (secundarias) son subjetivas y dependen de la estructura del cuerpo, son o bien efectos de nuestros prejuicios o bien consecuencias de las afecciones primarias de la materia.

(6) Las cualidades sensibles (blanco de la nieve, caliente del fuego), etc. parecen estar en los cuerpos aunque no haya hombres o animales que las perciban. Sin embargo, se deben, lo mismo que las influencias sensibles de un cuerpo inanimado sobre otro (así, el carbón no sólo quemará la mano del hombre, sino que derretirá también la cera), a movimientos locales de sus partes o cambios de textura a causa de ellos. Un alfiler con el que nos pinchamos produce dolor. Pero el alfiler en sí no es más que un metal delgado alargado que cuando penetra en la piel produce cierto movimiento local de las partes de nuestro cuerpo y se traduce en la sensación en cuestión.

(7) La forma de un cuerpo es la conjunción de las cualidades que lo integran, que derivan en definitiva de las propiedades y atributos esenciales de la materia.

(8) Hay partículas prácticamente indivisibles, los *mínima naturalia*. Estos forman unos *corpúsculos* también invisibles a los sentidos, que son muy difíciles de dividir. Así el mercurio puede convertirse en un polvo a partir de un cuerpo fusible o en un humo fugitivo, pero sigue siendo mercurio. Unos y otros, cuando pasan a formar parte de otros conglomerados mayores cambian su tamaño o figura al aglomerarse.

Boyle desarrolla un programa mecanicista, como puede observarse, cuya *heurística* o normas metodológicas (basadas en su metafísica) son similares a Descartes: *dar explicaciones mecánicas de todos los fenómenos*, bien por choque entre átomos a través del vacío (Boyle admite el vacío a veces, aunque en esta declaración de principios parece lo contrario) o por contacto directo (Descartes). La mayoría de los asertos de arriba se pueden subsumir bajo las F1 y F2 cartesianos y las consecuencias que conllevan. La afirmación (1) atribuye a la sustancia universal tres propiedades: extensa, divisible, impenetrable, que coinciden con la descripción cartesiana de

materia. La aseveración (8), sin embargo, significa, de hecho, admitir átomos o partículas indivisibles, que Descartes no admite y es una corrección, en cierta medida, a (1). En (4) añade dos atributos más a la materia: posición y orden, que recuerdan a Leucipo. Boyle también acepta la teoría de los vórtices en sus explicaciones, como hemos visto. El *cinturón protector* habría de ampliarse con su ley de los gases. Mantiene el *núcleo sólido* cartesiano.

Boyle fue el químico mecanicista más importante. En *El químico escéptico* (1661) definió el concepto de elemento como aquellos cuerpos simples o sin mezcla de los que están formados los cuerpos mixtos perfectos, definición que expresaba la concepción tradicional. Como ha dicho en 8, la materia se compone de corpúsculos diminutos (*minima naturalia*) de los que se forman cuerpos más grandes que son de los que trata la química. La diferencias que observamos en los cuerpos se deben a las diferentes formas y movimientos de los corpúsculos elementales. El mercurio y la plata y otros metales son compuestos de partículas elementales pero son perdurables en los diversos experimentos. Su filosofía mecánica frustró el aspecto más prometedor de su química. El respeto a principios tradicionales artificiales le llevó a buscar transmutaciones de cualquier cosa en cualquier cosa, lo que una interpretación correcta de sus pruebas de identificación le hubiera evitado buscar.

12. El paradigma mecanicista de Boyle

12.1. Generalizaciones

Hay pocas *generalizaciones* simbólicas en él. Una de ellas es su famosa ley de que, a una determinada temperatura, la presión es inversamente proporcional al volumen de un gas. Abundan las correlaciones *numéricas* en sus experimentos, en forma de tablas, que relacionan diversas magnitudes como presión y volumen, la presión del aire encerrado en un tubo con la presión de la atmósfera, la presión experimentada con la calculada, etc.. Pero, como hombre poco dado a teorizar, como le acusaba Leibniz, abundan en él poco las leyes. En todo caso, acepta las leyes cartesianas sobre el universo.

12.2. La metafísica del paradigma

La ontología de su física es el mecanicismo-corpuscularista, en ligera oposición al atomismo epicureista y mecanicismo cartesiano. Se opone al epicureísmo por poner éste el movimiento en la misma materia y prescindir así de Dios. Es muy cartesiano excepto en la cuestión del vacío, que parece admitir frente al filósofo francés. No obstante, da poca importancia

a las cuestiones metafísicas. Pretende corregir el dogmatismo cartesiano mediante experimentos y no trata de buscar inútilmente la *materia subtilis* de Descartes. Desarrolla ampliamente la concepción mecanicista en *Works III*, 14-37 (cap. 8). Su aportación es la preponderancia que adjudica al movimiento sobre la materia. Las explicaciones efectivas teóricas en términos mecanicistas son escasas (recuérdese el caso de la elasticidad del aire), es algo más programático que real.

12.3. El método

Se le encuadra generalmente, y ello parece correcto, dentro del *paradigma metodológico baconiano*, por el peso que da al experimento frente a la teoría, realizando experimentos en las más diversas circunstancias (p. ej., en el experimento XVII visto lleva a cabo el de Torricelli en la campana de vacío, primero en una esfera hueca de vidrio con el barómetro parcialmente dentro y bien tapado con diaquilón por arriba, extrayendo el aire poco a poco, luego permitiendo dejar entrar el aire bruscamente, más tarde inyectando aire en la campana, posteriormente en una campana más pequeña, etc). Pero, hay que resaltar que no es tan *ateórico* como se le presenta normalmente, ya que trabaja anticipando resultados, formulando hipótesis previas, como se ve al inicio de experimento XVII:

«Consideraba que, si la verdadera y única razón por la cual el mercurio no cae más abajo, fuese que, a esa altitud, el cilindro de mercurio del tubo se halla en equilibrio con el cilindro de aire que se supone va del mercurio adyacente a la parte superior de la atmósfera, el mercurio del tubo habría de caer hasta el mismo nivel que el del recipiente, dado que en tal caso no habría ninguna presión sobre el mercurio subyacente capaz de resistir al peso del situado encima. De ahí que infiriese que si el experimento se pudiese realizar en nuestra máquina, el mercurio descendería por debajo de los 27 dedos en proporción a la extracción de aire practicada en la campana.»⁶²

En el experimento del tubo en forma de sifón, el diseño y su planteamiento indican que está manejando la hipótesis de que el aire tiene un resorte suficientemente fuerte como para equilibrar la columna de mercurio, cuyo peso es mayor en este caso que la presión de la atmósfera. Se trata de refutar la hipótesis de F. Linus. Por ello, dice que:

«habremos de esforzarnos ahora por poner de manifiesto mediante

⁶² Boyle, *Ibid.*, p. 51.

experimentos hechos expresamente al efecto, que el resorte del aire es capaz de hacer mucho más de lo que precisamos atribuirle para resolver los fenómenos del experimento de Torricelli.»⁶³

Habla positivamente de teoría y de hipótesis en multitud de ocasiones: «Quien tenga en cuenta nuestras enseñanzas, fácilmente discernirá que esta observación (que el tubo de mercurio en el brazo largo ascienda 29 pulgadas más que en el corto mientras en el corto se ha reducido a la mitad el volumen del aire) no sólo concuerda muy bien, sino que también confirma nuestra hipótesis (...) cuanto mayor es el peso que se apoya sobre el aire, mayor es su tendencia a la dilatación y mayor resistencia tiene»⁶⁴ «Tan pronto como (Brouncker) me oyó hablar de las suposiciones del señor Townley acerca de la proporción en que el aire pierde su resorte con la dilatación, (...) me dijo que el año anterior había realizado observaciones (...) que concordaban bastante bien con la teoría del señor Tonwley».⁶⁵

Valores metodológicos para Boyle son el rigor en las mediciones (admite el resultado sólo entre ciertos márgenes de error) y preferencia de la observación a la teoría. En relación, p. ej., con la fuerza del resorte del aire dilatado, a cuyo experimento no nos hemos referido, dice:

«Pues cuando el aire sólo aumentaba cuatro veces su primitiva extensión, el cilindro mercurial, aunque era casi de 23 pulgadas, no difería en un cuarto de pulgada de lo que habría de tener según la exactitud matemática, la proporción, digo, era lo bastante aceptable para hacer la siguiente reflexión.»⁶⁶

Hay bastante preocupación por ajustar hipótesis de bajo nivel y experimento, cuyos resultados anota en tablas. Recurre a la teoría, al mecanicismo y en concreto a Descartes⁶⁷, sin embargo, para rebatir al adversario, el P. Linus, a la hora de buscar la razón de la elasticidad del aire (experimento de la vejiga de carpa en la campana de vacío, que se hincha al extraer el aire). O su teoría del éter discontinuo para explicar la gravedad. Entre teoría y experimento, hay una relación vaga, no expresable lógicamente ni matemáticamente, como ocurre en todos los científicos de la época, a excepción de Newton, que es el primero en formular teorías matemáticamente. La teoría más bien actúa como heurística.

⁶³ Boyle, *Ibid.* p. 71.

⁶⁴ Boyle, *Ibid.* p. 74.

⁶⁵ Boyle, *Ibid.* p. 83.

⁶⁶ Boyle, *Ibid.* p. 88.

⁶⁷ Boyle, *Ibid.* p. 97.

12.4. *Status cognitivo del conocimiento teórico*

El conocimiento teórico lo formula a modo de conjetura más que como doctrina establecida. Atacando los argumentos de Linus contra el resorte del aire, afirma Boyle que quizás se expliquen todos los fenómenos que aduce Linus mediante una hipótesis que «acepta» por el momento⁶⁸. Muestra cierto escepticismo baconiano a la especulación y tono conciliador en las cuestiones filosóficas. Usa la teoría más como instrumento para salir del paso a las objeciones que le plantean que como un reflejo de la realidad. A pesar de ello, es dudoso que sea instrumentalista.

12.5. *Ejemplares paradigmáticos*

Sus ejemplos favoritos son los experimentos neumáticos. En química no aportó nada, más bien, como todos los mecanicistas, pretendió reducirla a física mecanicista, a pesar de que *El químico escéptico* (1661) pudiera parecer lo contrario. No acepta elementos o familias de sustancias naturales, que son absurdas para él. Más influjo produjo su experimentalismo baconiano (disolver el coral, disolución de metales, etc.) que su marco conceptual. En este sentido es el padre de la química.

III. LA TEORÍA ÓPTICA DE Ch. HUYGENS (1629-1695)⁶⁹

La obra de Huygens constituye el eslabón entre Galileo y Newton. Ofrece el primer ejemplo de ciencia liberado de los prejuicios escolásticos. Es el físico en persona. Concibe la experiencia al servicio de la razón.⁷⁰

Frente a la teoría corpuscular de la luz de Newton o Descartes, otros autores como R. Hooke o Ch. Huygens concebían la luz como una serie de impulsos en un medio etéreo. No se trataba de la teoría ondulatoria de la luz en sentido moderno, pues no se había reconocido el carácter *periódico* de la luz. Curiosamente fue Newton quien consideraba la posibilidad de que la luz pudiese tener propiedades periódicas para explicar la diversa

⁶⁸ Boyle, *Ibid.* p. 93.

⁶⁹ Cf. *Traité de la Lumière*. Publicado en la Haya, 8 de Enero de 1690. Reimpreso por la Academia Holandesa de las ciencias, Swets & Zeitlinger N.V. Amsterdam, 1967, en *Oeuvres Completes*, tomo XIX, que incluye estudios sobre *La Lumière* y el propio *Traité de la lumière*, pp. 450-550. Este tratado consta de seis capítulos: el primero trata de la propagación rectilínea, mediante ondas y de su velocidad finita; el segundo, de la reflexión, el tercero, de la refracción; el cuarto, de la refracción del aire; el quinto de la extraña refracción del cristal de Islandia y el sexto, de las figuras de cuerpos diáfanos que sirven a la refracción y reflexión. Nos referiremos siempre a esta edición francesa, parte de la cual está también en latín.

⁷⁰ R. Taton (dir.): *Historia general de las ciencias*. El siglo XVII, vol. II. Barcelona, Ed. Orbis, 1988. p. 303.

refrangibilidad de los colores.

Las demostraciones ópticas, lo mismo que todas las ciencias en que se aplica la geometría a la experiencia, se fundan en verdades sacadas de la experiencia, afirma Huygens. Tales como que los rayos de luz se propagan en línea recta, que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, que en la refracción el rayo se rompe siguiendo la regla del seno, la refracción del aire, la extraña doble refracción del espató de Islandia, etc. Algunos escritores sobre óptica se han contentado «presuponiendo» estas verdades. Huygens quiere buscar las causas de esos fenómenos con razones «inteligibles», con razones más claras y verosímiles, que sólo se encuentran en «*la vray philosophie dans laquelle on conçoit la cause de tous les effects naturels par des raisons de mecanique*». ⁷¹ Nadie todavía ha «explicado» los fenómenos primeros de la luz.

Para ilustrar el punto de vista mecanicista de Huygens nos vamos a limitar, por razones de espacio, a considerar solamente dos de los fenómenos nombrados: son la propagación rectilínea y la refracción de la luz tal como las expone en su *Traité de la lumière*.

13. La propagación rectilínea de la luz

No hay duda de que la luz consiste en el movimiento de cierta materia : «*vix dubitari potest quin in motu materiae cujusdam corporae tota lucis natura reposita sit*» ⁷². Sea que se considere su producción en la tierra (el fuego y la llama), sea que se consideren sus efectos, se muestra que hay movimiento.

Si se considera la extrema velocidad de la luz y el hecho de que los rayos vienen de sitios opuestos y se atraviesan sin perturbarse, se infiere que la visión de un objeto luminoso no puede hacerse por transporte de materia, como una bala o flecha a través del aire. La luz emplea tiempo al propagarse, el movimiento impreso a la materia es sucesivo y se extiende, como el sonido, por superficies y ondas esféricas. Para ver si la *propagación de la luz es temporal* examina las experiencias que pudieran convencernos de que es instantánea. Descartes, que opinaba que se propagaba instantáneamente, se fundaba en una experiencia sacada de los eclipses de luna, la cual Huygens rechaza. Lo razonaba así:

A representa el sol, B la tierra y C la luna. BD representa parte de la órbita de la tierra y CD de la luna. Cuando B está entre A y C se produce el eclipse de luna. Pero como la luz tarda tiempo en propagarse (hipótesis), cuando la sombra llegue a C, la tierra ya estará en E. La luz habrá viajado la distancia de ida BC y de vuelta CE. Como la distancia de la

⁷¹ Huygens, *Ibid.* p. 461.

⁷² Huygens, *Ibid.* p. 460.

tierra al sol es unas 400 veces mayor que la de la tierra a la luna, el ángulo BCE será 400 veces mayor que BAE, pero suponiendo una velocidad de la luz 100.000 veces mayor que la del sonido, cosa no imposible para Huygens, el ángulo GEC será muy pequeño para poderlo apreciar, 6', de forma que la luna eclipsada parece verse en el lugar de la eclíptica opuesto al sol y, sin embargo, realmente aparece detrás del ángulo GEC, suplementario de AEC.

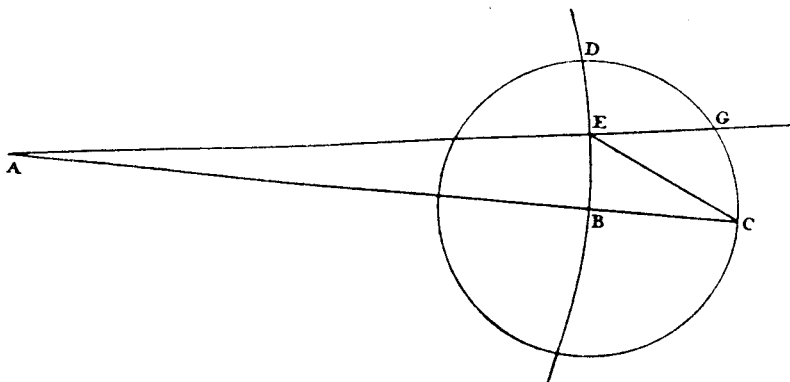


Fig. 7

Su hipótesis ha sido demostrada por Römer. Se sirve de eclipses de pequeños planetas que rotan alrededor de Júpiter y que entran frecuentemente en su sombra.⁷³ Se ha observado durante más de diez años que, desde dos distintos puntos de la órbita de la tierra, alejados entre sí, B y C, o D y E, el comienzo de los eclipses de un satélite de Júpiter, que ocurre cada 42 horas y media, se retrasa alrededor de diez minutos.

El movimiento de materia surge de cada punto del objeto luminoso para poder ser percibidas todas las partes del objeto luminoso. La materia a través de la que se propaga la luz, el éter, no es la misma que la del sonido, que no se propaga en el vacío. El movimiento de la luz a través de las partículas de éter es similar al movimiento comunicado por una bola primera a la última de una serie, colocadas en línea recta y en contacto entre sí. Tales bolas se suponen sumamente duras y elásticas. Pero este progreso de movimiento no es instantáneo sino sucesivo, de lo contrario avanzarían todas las bolas en conjunto y no la última. Aunque las partículas del éter no estén organizadas como las bolas en línea recta, sino confu-

⁷³ Huygens, *Ibid.* p. 467.

samente de suerte que cada una toque a muchas, nada impide que transporten su movimiento y se extiendan siempre hacia adelante.

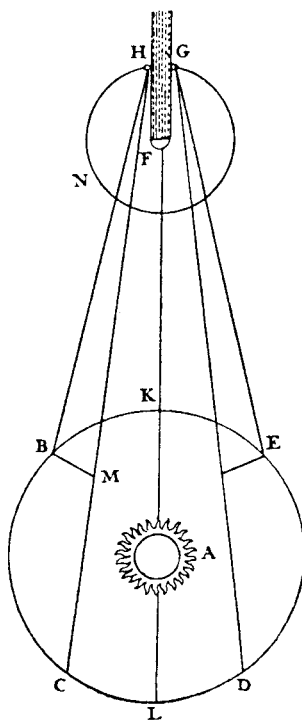


Fig. 8

Estas ondas se generan de cada pequeño lugar de un cuerpo luminoso, el sol, una llama o un carbón ardiente; así, en la llama de una candela, si se consideran los puntos A, B y C, los círculos concéntricos descritos en torno a cada uno de estos puntos, representan las ondas que provienen de ellos.⁷⁴

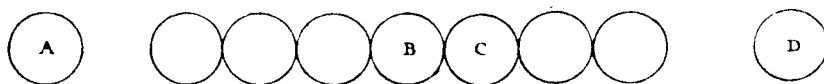


Fig. 9

⁷⁴ Huygens, *Ibid.* p. 474.

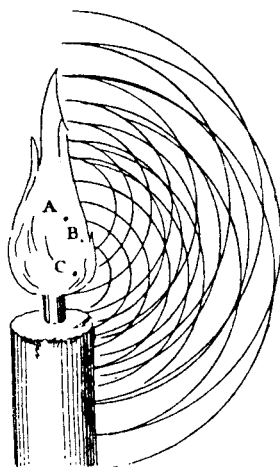


Fig. 10

No es necesario suponer que las ondas se sucedan a distancias iguales. Esta cantidad de ondas se atraviesen sin confusión ni sin influir unas

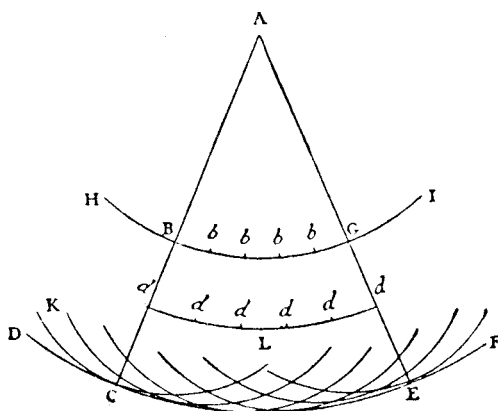


Fig. 11

en otras. Una misma partícula de materia puede servir a varias ondas, viniendo de diversos lados o incluso de lados contrarios. La razón de que ondas tan pequeñas se extiendan a distancias tan grandes es que se reúnen en una sola muchas, de forma que tiene bastante fuerza para llegar

lejos.

Cada partícula de materia, en la que la onda se extiende, no comunica su movimiento sólo a la partícula próxima, que está en línea recta trazada desde el punto luminoso, sino que lo transmite necesariamente a todas que la tocan. De suerte que es necesario que en torno a cada partícula se forme una onda de la cual esta partícula es el centro. Cada parte de onda debe extenderse de modo que las extremidades están siempre comprendidas entre las mismas líneas rectas trazadas desde el punto luminoso A.

Y aquí se ve la razón de que los rayos de luz se propagan en línea recta, si no son reflejados o rotos, de modo que no ilumina ningún objeto más que cuando el camino desde su fuente a este objeto está abierto siguiendo tales líneas.

14. La refracción

De la misma manera que ha explicado la reflexión por ondas de la luz reflejadas sobre la superficie de cuerpos pulidos, explica la transparencia y los fenómenos de refracción por ondas que se extienden dentro y a través de cuerpos diáfanos, tan sólidos como el vidrio, líquidos como agua, aceites, etc. La manera como puede concebirse la transparencia es que la luz pase a través tanto de las partículas de éter que ocupan los poros de los cuerpos transparentes como de las partículas que los forman a éstos; esta hipótesis le sirve también para explicar la refracción doble de ciertos cuerpos diáfanos, el espato de Islandia. El progreso de estas ondas es más lento dentro de los cuerpos, en razón de los pequeños rodeos que causan las mismas partículas.

Las partículas de los cuerpos transparentes tienen su resorte más lento que las etéreas, por lo que el avance de las ondas luminosas en el éter es más rápido que dentro del cuerpo. Los metales, que son los verdaderamente opacos, entre sus partículas duras tienen entremezcladas partículas blandas, de modo que unas sirven para causar la reflexión, las otras para impedir la transparencia, mientras los cuerpos transparentes sólo contienen partículas duras, que hacen resorte y sirven junto a las del éter para la propagación de la luz.

En la p. 484 del *Traité* explica la *refracción* de la luz, suponiendo el paso de las ondas de la luz a través de cuerpos transparentes y la disminución de la velocidad que estas mismas ondas sufren. Al chocar la onda oblicuamente contra la superficie de separación, una parte de la onda frontal penetra en el nuevo medio y se propaga a menor velocidad, mientras la otra parte, todavía fuera, se propaga a la velocidad original. En la fig. 13 se representa la refracción tal como Huygens la dibuja. En p. 486 dice: «de donde hay que reconocer esta propiedad principal de la refracción: que el seno del ángulo DAE, tiene siempre una misma razón al seno del ángulo

NAF, cualquiera que sea la inclinación del rayo DA: que esta razón es la misma que la de la velocidad de las ondas en el diáfano hacia AE, a su velocidad en el diáfano hacia AF».

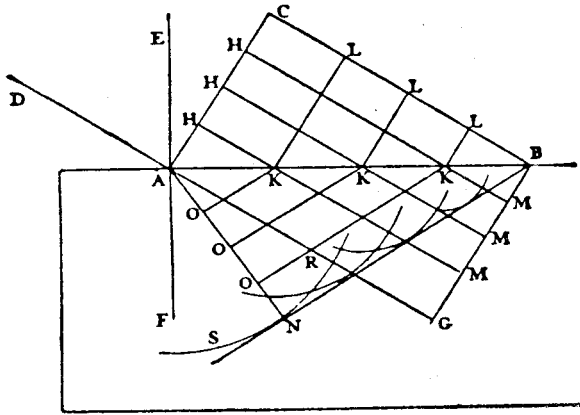


Fig. 12

15. La filosofía mecánica de Huygens como programa de investigación

El núcleo sólido de su programa es el cartesiano, pero formulando correctamente las leyes del choque, que Descartes había erróneamente expresado. En 1669 *La Royal Society* publicó en sus *Philosophical Transactions* un resultado obtenido, independientemente, por Huygens, Wallis y Wren: la cantidad total de movimiento de un sistema se conserva; la cantidad de movimiento de cualquier objeto es igual al producto de masa por el vector velocidad, $p = mv$. Además, descubrió que en los choques perfectamente elásticos se conserva mv^2 , el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad, que Leibniz llamará *vis viva*. La heurística, en el aspecto básico, es la misma cartesiana también: dar explicaciones mecánicas de todos los fenómenos. Huygens lo hará en el marco de la teoría atomista, pues admite corpúsculos de éter impenetrables y espacio vacío. No acepta la teoría de los vórtices a la cartesiana, pero sí un éter discontinuo en movimiento, a través del que se ejerce la influencia entre los cuerpos. Del cinturón protector cartesiano habría que sacar F2, la teoría corpuscular de la luz, los modelos de vórtices, etc. e incluir sus leyes descubiertas o aceptadas: la ley de gravitación, cuya fórmula acepta, pero no su explicación newtoniana, las leyes de la fuerza centrífuga, el péndulo cicloidal, etc. Huygens, Wallis y Wren estaban convencidos de la verdad de la ley de la inversa del cuadrado y dedujeron sobre ese supuesto, imaginando órbitas circulares, por simplicidad, la

tercera ley de Kepler. Pero no pudieron deducir las otras dos. Esta tarea quedaría reservada para Newton.

16. El Paradigma mecanicista de Huygens

16.1. Generalizaciones

Hay en el *Traité de la lumière* generalizaciones simbólicas, aunque expresadas mediante proporciones geométricas, como en Galileo y antes Arquímedes: recoge leyes físicas ya descubiertas por otros como la ley de los senos de la refracción de Snell; da explicaciones físico-geométricas de la ley de reflexión o refracción, de la refracción del espato de Islandia, de la refracción en la atmósfera, etc. En el campo de la mecánica descubrió las leyes de la *fuerza centrífuga* y formuló correctamente las leyes del choque que Descartes no consiguió, como vimos. Además, descubrió que en los choques perfectamente elásticos se conserva la *vis viva*. Huygens no es tan creativo en la óptica por descubrir nuevas leyes cuanto por desarrollar la teoría ondulatoria, que se remonta a F. Grimaldi.

16.2. La metafísica del paradigma

La teoría ondulatoria de la luz es el marco teórico, con el que explica todos los fenómenos ópticos. Para fundamentar esta teoría tiene que aceptar el mecanicismo cartesiano, aunque éste es corpuscularista en lo tocante a la luz, y aunque hay entre ambos diferencias en su concepción mecánica general. P. ej., Huygens es atomista, admite un éter discontinuo, es decir, entre las partículas de éter hay vacíos. Huygens tachaba de absurdo el principio de atracción de Newton, inexplicable por razones mecánicas, aunque aceptaba su formulación matemática. Para explicar la gravedad recurre al choque entre los átomos etéreos. P. ej., cuando el péndulo asciende, pierde movimiento visible pero gana energía potencial. La energía cinética no se pierde, sino que se redistribuye, comunicándose a los átomos del éter gravitacional.

Su concepción teórica es realista ingenua. Las partículas elásticas de éter son concebidas como bolas elásticas con capacidad de resorte casi instantáneo. El caso de Huygens es un buen ejemplo de recurso a entidades teóricas subyacentes inobservables para explicar los fenómenos ópticos observables o incluso en discusión como la velocidad de la luz en medios de densidad diferentes. Es un ejemplo de cómo una teoría, verdadera en su idea general, pero falsa en todo lo relativo al éter como medio de propagación de las ondas luminosas e incompleta, pues no se conocía entonces el carácter periódico de las ondas, ni sus diversas propiedades, etc. le sirvió a Huygens para explicar y predecir hipótesis correctas como la

menor velocidad de la luz en un medio más denso, que se verificaría por Fizeau y Foucault hacia mediados de 1850.

16.3. El problema metodológico

Huygens establece una diferencia metodológica importante entre las demostraciones geométricas y las físicas:

Los geómetras prueban sus proposiciones de principios ciertos e incontestables, mientras que en la física se verifican los principios por las conclusiones que se sacan de ellos. En física, se puede llegar a veces a un grado de verosimilitud, que muy frecuentemente no da paso a una evidencia total. Cuando las cosas que se han demostrado por principios supuestos se refieren perfectamente a los fenómenos que corrobora la experiencia; sobre todo cuando hay gran número y cuando uno se forma y prevé fenómenos nuevos que se siguen de hipótesis que uno emplea y se encuentra que en esto el efecto responde a nuestras expectativas.

«Si todas estas pruebas de la verosimilitud se encuentran en lo que me he propuesto tratar, tal como me parece, esto debería confirmar en gran manera el éxito de mi investigación y difícilmente es posible que las cosas no sean aproximadamente como me las represento.»⁷⁵

Como vemos, diferencia entre el método axiomático geométrico, que nos lleva a conclusiones seguras y el método en la física, que sólo da cierto grado de verosimilitud a las hipótesis que se someten a contraste experimental. Y esta verosimilitud está en función del número y variedad de instancias confirmadoras de las hipótesis o «principios supuestos», sobre todo de la confirmación de nuevas predicciones. Metodológicamente hay que encuadrarlo claramente dentro del esquema *hipotético-deductivo* en amplio sentido. Huygens parte de una serie de hechos, algunos muy bien conocidos, cuando escribe su *Tratado de la luz*, como la propagación rectilínea de la luz, la reflexión, refracción, refracción del aire, la doble refracción del espato de Islandia, otros objetos de discusión aún, como la velocidad finita de la luz, y para explicarlos desarrolla una serie de hipótesis, en el marco del modelo teórico mecanicista de explicación, en concreto dentro de la teoría ondulatoria de la luz de corte mecánico. Para dar explicación de la finitud de la velocidad de la luz se remonta a las observaciones de Römer, compatibles con esa hipótesis e inconsistentes con la cartesiana que defendía la velocidad instantánea. También da una explicación, mediante un esquema geométrico de por qué, cuando la luna es eclipsada por la

⁷⁵ *Traité de la lumière*, p. 444-445.

tierra, ésta no está en línea recta entre la luna y el sol, aunque se haya creído siempre eso. Para dar cuenta de la explicación rectilínea de la luz desarrolla su teoría ondulatoria en un medio elástico que es el éter. El espacio y los poros de los cuerpos está llenos de estas partículas duras y elásticas de éter. Cada partícula es el centro de una nueva onda. Con ello explica la propagación rectilínea y en todas las direcciones. Para demostrar la reflexión, cuya ley ya era conocida, alude a la teoría ondulatoria (explicación física) y da una explicación geoméricamente correcta de la misma. Lo mismo para explicar la refracción, dando un papel muy importante a la explicación física en función del éter, menos abundante en un medio más denso y, por ello, la velocidad de la luz es más lenta en él y ésta se refracta acercándose hacia la normal. La misma teoría ondulatoria le sirve para explicar la refracción del aire y la doble refracción del espato de Islandia. En este último caso, imagina partículas elipsoidales en vez de esféricas en el cristal de Islandia, que, junto con las partículas de éter, producen las diferentes trayectorias en la desviación del rayo de luz que incide en él. En suma, acepta hipótesis de bajo nivel precisas de tipo óptico-geométrico y, para dar cuenta de las cuales, desarrolla otras de más alto nivel, mucho más imprecisas (mecanicismo). La conexión entre la teoría ondulatoria y la observación era poco precisa, al no estar formulada con precisión matemática. Hay que recalcar que el peso de la observación y el experimento en Huygens es mayor que en Descartes e, incluso, que en Galileo.

Como *valores metodológicos*, aparte de cierta precisión en las predicciones concretas y de las explicaciones y demostraciones geométricas, está, sobre todo, el interés por dar explicaciones mecánicas de todos los fenómenos ópticos, gravitacionales y dinámicos en general.

La teoría ondulatoria se vería corroborada en el siglo XIX por fenómenos como la difracción (Poisson), interferencia (Young), polarización de la luz (Young y Fresnel), etc., aunque suponiendo que las ondas luminosas son transversales y no longitudinales como suponía Huygens, que falsificaron la teoría corpuscular clásica. Pero las explicaciones mecánicas del éter para generar las ondas tienen carácter a priori, y aun metafísico, y no están apoyadas en la experiencia sino en analogías con la experiencia. En el siglo XIX se demostraría la inadecuación de los modelos mecánicos del éter. Un problema para la teoría ondulatoria de Huygens era explicar las sombras de objetos opacos.

16.4. Ejemplares paradigmáticos

Ejemplares paradigmáticos : Huygens trabaja en el *Traité* con los fenómenos ópticos, pero el mecanicismo se aplicaba en aquella época a todos los fenómenos conocidos y Huygens lo aplicó a otros campos como la grave-

dad, las fuerzas centrífugas, péndulos, mecánica de choque, etc. Su fórmula sobre la duración de las oscilaciones del péndulo le permitió un método para medir la aceleración gravitacional en la superficie de la tierra.

CONCLUSIONES

Sobre la base de las discusiones precedentes se pueden extraer diversas conclusiones, pero nosotros queremos recalcar las siguientes:

(a) Los principios metafísicos han jugado un papel decisivo en la ciencia, ya prohibiendo modos determinados de investigación en ella, ya alentando otros alternativos. El caso cartesianismo/newtonianismo es un buen ejemplo de ello. Dichos principios suministran modelos heurísticos que guían la investigación en determinada dirección. Aunque la metafísica como tal no es contrastable por la experiencia directamente ni indirectamente, de ella se derivan —no lógicamente, es claro— normas metodológicas, cuya plausibilidad o no puede valorarse por los resultados contrastables empíricamente a que conducen. Los principios metafísicos forman parte de lo que Lakatos llama *heurística positiva* de un *programa de investigación* o de lo que Kuhn llama *paradigma*.

(b) Hay una gran disonancia entre el método y la metodología en los científicos considerados. Por una parte, diseñan diversos modelos abstractos metodológicos de la ciencia que luego, con frecuencia, incumplen al no poder realizar sus exigencias. El caso de Newton es patente: dice restringirse a la inducción a partir de hechos y, cuando lo considera oportuno, recurre a hipótesis de diverso tipo. Descartes proclama el método axiomático-deductivo para todo el saber, pero practica el método hipotético-deductivo y de análisis-síntesis, cuando recurre al descubrimiento de leyes particulares o explicación de fenómenos particulares. Boyle preconiza el método empirista-inductivo baconiano pero recurre a la teoría mecánica del aire en sus discusiones con F. Linus. De todos los científicos considerados, Huygens sería, a nuestro juicio, el que más ajustaría la práctica científica a sus exigencias teóricas enunciadas al principio de su *Traité de la lumière*.

(c) La historia de la ciencia no puede comprenderse únicamente desde factores internos lógico-empíricos, aunque éstos sean los más importantes. La consideración de factores externos como las luchas entre programas rivales y sus diversas proclamas metodológicas, con las influencias psicológicas que pueden llevar consigo en un momento dado de su desarrollo, juegan un papel importante en los programas científicos en construcción, aunque escaso o nulo en los programas bien establecidos, mientras no entren en crisis. La comprensión de la historia de la ciencia sólo puede hacerse desde planteamientos amplios y multispectuales.

(d) Las reconstrucciones racionales de la historia de la ciencia deben ser

complementadas por los diversos aspectos que se han señalado al principio de este ensayo. Aquí se han tenido en cuenta bastantes de ellos, pero se han ignorado, por razones de espacio, otros como los históricos, sociológicos o psicológicos.

* * *

Diego Aísa Moreu
Departamento de Filosofía
e Historia de la Ciencia
Universidad de Zaragoza
50009 Zaragoza