



La cuestión 31 de la *Óptica* o el programa de las fuerzas en la filosofía mecánica

Favio ERNESTO CALA VITERY



RESUMEN

En su forma definitiva, la *Óptica* de Newton concluye su libro tercero con 31 cuestiones. La Cuestión 31, la más extensa, pretende, entre otras cosas, dibujar un universo sometido a la acción de fuerzas. De esta manera, el éxito que significó la introducción de una fuerza de acción a distancia entre cuerpos materiales, como la gravitación universal, pretendía ser extendido al curso del conjunto general de los fenómenos que la filosofía mecánica delimitaba como suyos. Se argumenta que la dificultad de esta empresa es justificada por el prematuro estado de gestación de las nuevas ciencias experimentales o baconianas que, a diferencia de la dinámica de los *Principia*, se resistirían a un rápido formalismo matemático al estilo newtoniano; esto es, a la mediación de una fuerza a distancia como clave para la síntesis general de fenómenos naturales. Una mirada, desde las palabras legadas por Newton en su cuestión 31, permite seguirle en su intención de investigar e instalar un programa de unificación de las posibles fuerzas de la naturaleza.

PALABRAS-CLAVE • Newton. Óptica. Filosofía mecánica. Fuerza. Dinámica.

I LAS *Queries* EN SU CONTEXTO: LA ÓPTICA Y LA FILOSOFÍA EXPERIMENTAL

La última edición de la *Óptica*, que contara con la vigilancia de su egregio progenitor, Sir Isaac Newton, cerró su contenido con 31 *Queries*, o *cuestiones*, bautizadas así aludiendo al tono interrogativo en que fueron redactadas. Sabido es que los incuestionables logros alcanzados por Newton en física y particularmente la solidez estructural de los *Principia*, a través de la cual muchos vieron el triunfo de la filosofía mecánica y la más notable síntesis científica, han eclipsado el interés por su trabajo en otros campos como la química o la alquimia, la teología y algún no menos persistente esfuerzo por delinear una inconclusa teoría de la materia, por mencionar algunos de los temas entretrenidos por el inagotable genio de Newton.

Es preciso reparar en que Newton, habida cuenta de su temperamento irascible, cauto y venenoso, intenta eludir la controversia que pudieran provocar sus convicciones



y amparado en su supuesto credo epistemológico, el celebrado *hypotheses non fingo*, oculta mucho de lo que piensa y recela en publicar sus inferencias más generales enarreciendo aún más la atmósfera para quienes intentan seguirle o criticarle.¹ Con todo, consciente de la incertidumbre que, desde la misma filosofía mecánica y seguramente desde su propia vocación teológica, podía enrarecer buena parte de su pensamiento, conservado largo tiempo en el tintero, en las *Cuestiones de la óptica*, el ilustre filósofo natural parece haber dejado fluir su pluma y un profundo y variopinto despliegue temático las recorren.

Como contrapunto a la unidad temática de los *Principia*, en las cuestiones Newton dedica páginas enteras a elucidar sobre la acción a distancia, el movimiento animal, la fisiología de la visión, el éter, los efluvios magnéticos, las reglas de la química, las fuerzas atractivas y repulsivas, el método experimental e incluso algunos argumentos teológicos sobre la necesidad de la divinidad para preservar el orden y el movimiento, por referir algunos tópicos. No es sorpresa, entonces, que las cuestiones hayan sido tomadas por un breve tratado de filosofía natural y experimental. Por esto, aunque el acento interrogativo pretenda subrayar el carácter hipotético que Newton quiso imprimirle a estas cuestiones, ya sea por cautela, ya sea por limitaciones teóricas o experimentales, las *Cuestiones de la óptica* fueron tomadas como algo más que simples hipótesis especulativas por buena parte de sus entusiastas seguidores. Allí vieron consignas que anticipaban la solución a buena parte de los principales interrogantes que se planteaba la filosofía natural. No es de extrañar, pues Newton se pregunta, por ejemplo, “¿Acaso no son erróneas todas las hipótesis en las que se supone que la luz consiste en una presión o movimiento propagado a través de un medio fluido?” (Newton, 1977, p. 313). Y el interrogante claramente sugiere la solución. No parece dejar dudas sobre la inminente respuesta. No ha sido planteado como un problema abierto al estilo de ¿Cuál ha de ser la verdadera naturaleza de la luz?

Se ve que las *Cuestiones* implican una línea argumental. Esto llevó a muchos de sus incontables seguidores, de la mano del prestigio de su creador, a desplazar el énfasis interrogativo con que fueron concebidas. Para ellos, finalmente Newton, con sus cuestiones, no sólo ha tramado hipótesis o sugerentes alternativas para ulteriores investigaciones, sino que incluso ha ampliado las contribuciones positivas de su legado como filósofo natural.²

¹ Ya en 1690, cuando Newton preparaba la *Óptica*, en un borrador expresaba sus reservas, su temor y su cautela para publicar abiertamente algunos de los temas que contendrían las cuestiones finales del libro, allí, justo después de anticipar sus ideas sobre la consonancia y simplicidad de la naturaleza, advierte: “Este principio de la naturaleza, que está muy afastado de las concepciones de los filósofos, yo me abstuve de describir-lo, porque sería considerado un *capricho extravagante* y, así, perjudicar mis lectores contra todas aquellas cosas que serian el principal objetivo del libro” (Newton *apud* Cohen & Westfall, 1993, p. 180).

La diversidad temática abordada en las cuestiones no es arbitraria, pues éstas no han sido escritas todas a un mismo tiempo. Son testimonio tanto de la evolución del pensamiento de Newton como de su vasta vocación intelectual. Así, las primeras 16 cuestiones, que fueron incluidas en la primera edición inglesa de 1704, suponen la continuidad del contenido de la *Óptica*. Allí se conjetura sobre el carácter corpuscular de la luz. Dos años más tarde, en la primera edición latina, Newton incluyó las cuestiones 17 a 23, renumeradas posteriormente, tras la inclusión de las restantes cuestiones en la segunda edición inglesa de 1717, de la 25 hasta la 31. En ellas, Newton amplía de manera inusitada el panorama de la *Óptica* y nos ofrece una vasta radiografía intelectual, atacando la teoría lumínica de Huygens, el éter cartesiano, disertando sobre la llama, el calor y el fuego y extendiendo el marco de su pensamiento corpuscular de la óptica a la química y en general a su elusiva teoría de la materia.³ Así pues, en la *Óptica*, con sus cuestiones finales, se asiste al testimonio de un Newton que, a diferencia del que se nos presentara en los *Principia* con su elegante síntesis gravitacional, ha optado por extender la mira dibujando buena parte del paisaje correspondiente a la filosofía natural, con tan fructífero ingenio que por momentos recuerda la fabulación cartesiana y nos hace sospechar si se trata del mismo que con meticuloso rigor escribiera los *Principia*.

Bastante se ha dicho sobre el estilo distinto entre los dos grandes monumentos de Newton, los *Principia* y la *Óptica*. Y, aunque se esté tentado a pensar que acaso las diferencias obedezcan a la progresiva mutación de enfoque que pudo operarse en el

² En el libro tercero de la *Óptica*, tras describir las “observaciones relativas a las inflexiones de los rayos de la luz y a los colores por ellas producidos”, Newton advierte claramente sobre el carácter inconcluso de las mismas y seguidamente propone las famosas cuestiones finales subrayando su espíritu como programa de investigación; dice: “Puesto que no he dado término a esta parte de mis proyectos, concluiré proponiendo simplemente algunos interrogantes para que otros emprendan ulteriores investigaciones” (Newton *apud* Cohen & Westfall, 1993, p. 294-5). Una advertencia similar podía leerse ya en la “Advertencia II”, añadida en la segunda edición de la *Óptica* en 1717 (Newton *apud* Cohen & Westfall, 1993, p. 4).

Con todo, la filosófica advertencia implícita en el tono interrogativo de las cuestiones, ya en 1722, en el prefacio de la edición francesa de la *Óptica*, se lee: “apesar de Sir Isaac Newton proponer sus pensamientos en la forma de cuestiones, ojos penetrantes no dejaron de ver el sólido fundamento en que reposan” (cf. Thackray, 1970, p. 37).

³ En forma más o menos general, la filosofía natural del siglo XVII había convertido en su objeto el estudio de las relaciones entre materia y movimiento que dan cuenta de los fenómenos de la naturaleza. De aquí surgieron varios tipos de doctrinas corpusculares que pretendían retratar aproximadamente la composición de la materia y su dinámica. También, en general, se aborrecían las cualidades ocultas para justificar el movimiento. Newton también entretuvo distintas doctrinas corpusculares, pero aquí me refiero a la filosofía mecánica que postula partículas (átomos) en movimiento bajo el efecto de una acción a distancia – al estilo de la gravedad – sin que medie algún tipo de sustancia o éter para tal efecto. Esta acción a distancia resultó controversial porque parecía, más bien, rescatar la tradición escolástica y el contenido vacío de las cualidades ocultas. El propio Newton fue muy consciente de esta contrariedad. Véase más adelante la nota 5.

pensamiento de Newton, no en vano casi dos décadas separan la primera edición de los *Principia* (1687) de la primera edición de la *Óptica* (1704), creo que es más preciso atribuir estas diferencias a la inconexa tradición heredada por Newton para enfrentarse a una y otra tarea. Porque aunque los *Principia* pueden indudablemente insertarse en la tradición de las *ciencias clásicas*, no queda claro que la *Óptica* se alimente de la misma tradición intelectual.

Me explico: hace años que Kuhn señaló la diferencia entre los dos conjuntos de disciplinas científicas, o más precisamente de ciencias físicas, que durante los siglos XVI y XVII protagonizarían la llamada revolución científica, a saber, las ciencias *clásicas* y las ciencias *baconianas* (cf. Kuhn, 1976). Mientras las ciencias clásicas, descendientes de una larga tradición helenística, como la astronomía, la matemática, la armonía, la estática y la óptica geométrica, desde la antigüedad requerían la pericia matemática de un selecto grupo de especialistas para su ejercicio y pese a que en su remota gestación fuesen eminentemente empíricas, pudieron avanzar y transformarse sin la necesidad de refinar demasiado la observación y la experimentación, no así las ciencias baconianas, bautizadas de esta forma en honor a su principal promotor, que asentaron su condición en una novedosa forma de entender la experiencia.

Los practicantes de estas ciencias baconianas no sólo se limitaron a extender o refinar su agudeza empírica y experimental en situaciones más o menos conocidas, sino que llevaron la experimentación a terrenos innovadores, forzando a la naturaleza a hablar en circunstancias, hasta entonces, no exploradas. Recordemos a Boyle, paladín del legado baconiano, introduciendo a una rata en su bomba de aire para someterla a la recién inaugurada manipulación del vacío. Este es tan sólo un ejemplo del tipo de experimentos nacidos de la inquieta curiosidad de los filósofos baconianos, quienes, al tratar de revelar la naturaleza de las cosas en situaciones inéditas, se enfrentaron a la elaboración de relaciones no establecidas, ni imaginadas, previamente.

¿Qué relación puede haber entre un organismo viviente y el vacío? El resultado de este tipo de experimentos fue con frecuencia un enorme compendio o catálogo experimental amasado en las memorables historias naturales que según el lema baconiano constituían el pilar para la construcción de una auténtica filosofía natural.

Volvamos a Newton. A mediados del siglo XVII cuando las ciencias baconianas, entre las cuales pueden contarse la electricidad, el magnetismo, la teoría del calor, la química y buena parte de lo que hoy se conoce como óptica física, apenas estaban en gestación, las ciencias clásicas, por su parte, estaban siendo profundamente transformadas, promoviendo un nuevo estatus ontológico para las matemáticas, cristalizado con su gran triunfo a través de la imagen victoriosa proyectada desde los *Principia*. A este tipo de transformación se refirió extensamente Koyré cuando habló de la matematización del mundo como la clave de la revolución científica.⁴

Pero, ¿dónde ubicamos la *Óptica*? ¿En la tradición matematizable de las ciencias clásicas o en el catálogo de las ciencias baconianas? Porque aunque la *Óptica* se nos presente como un tratado de filosofía experimental y a pesar de que buena parte de las experiencias seleccionadas por Newton fueran tomadas directamente de la *Historia experimental de los colores* (*Experimental history of colors*) de Boyle, escrita en 1664, no puede decirse enteramente que la *Óptica* responda a la tradición baconiana. Mas bien se nutre de un legado desigual ya que a pesar de que Newton se haya mostrado exitoso en teorizar sobre las leyes de refracción en lentes y prismas, en razón de que esta vertiente del estudio lumínico deviene de una larga tradición, no así, por ejemplo, en el estudio de las recientes observaciones sobre difracción y polarización que habrían de esperar hasta Fresnell y sus contemporáneos para un intento formal de sistematización cuantitativa. La óptica geométrica parecía una ciencia madura, la óptica física no.

En cualquier caso, no obstante el dispar influjo del cuerpo central de la *Óptica* y por lo mismo, la disímil proyección de sus alcances, en las cuestiones finales el notable filósofo inglés se enfrenta de lleno al catálogo temático recogido de la tradición baconiana. La química, el magnetismo, la difracción, el calor e, incluso, su nebulosa teoría corpuscular son disciplinas que habrían de resistirse durante más de un siglo a una reducción teórica y matemática semejante a la que en la época caracterizó la revolución en las ciencias clásicas.

Con todo, aunque los temas de las cuestiones se circunscriban a la herencia de las ciencias baconianas, Newton es sólo uno, y habría de intentar la reducción de estos tópicos a las mismas categorías que había probado con tanto éxito en sus *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Es decir, si, en estos últimos, el milenarismo problema del movimiento local con sus referentes canónicos, la caída de los graves y el movimiento celeste, había sido triunfalmente sometido por la acción de una fuerza, de la gravitación universal, parecía natural que el paso siguiente fuera extender la acción de las fuerzas a casi toda la filosofía natural; desde la gravitación a la electricidad y el magnetismo, hasta alcanzar los fenómenos de la química y la cohesión de los cuerpos.

De modo que el esfuerzo de Newton por seleccionar categorías eficientes que permitieran el avance teórico al estilo de los *Principia* fue mucho más allá del problema del movimiento local y de la naturaleza de los movimientos lumínicos, de hecho se extendió hasta cobijar el legado que la filosofía experimental insular había entretenido con tanta profusión en figuras como Boyle o Hooke, sin dejar escapar, incluso,

4 En este sentido, es bien conocido el libro de Koyré, *Del mundo cerrado al universo infinito* (cf. Koyré, 1958; 1943). En el artículo de Kuhn (1976) bien se advierte que aunque la interpretación de la revolución científica al estilo de Koyré es acertada para el tipo de ciencias clásicas, ésta ignora el rol desempeñado por las ciencias baconianas en la filosofía natural del siglo XVII.

inquietudes geológicas y hasta teológicas en su intento por mostrar que la naturaleza ha de ser “muy simple y concorde consigo misma”, como bien señalase en el epílogo de la *Óptica*, en la última y más extensa de las cuestiones, la cuestión 31.

Acaso la cuestión 31 recoja el más substancial ejemplo de la amplitud de miras que ocupó el ingenio de Newton sin que, desde luego, esto supusiera el abandono de su permanente preocupación por la unidad de la naturaleza. De hecho la presencia de fuerzas parece ser la clave hermenéutica para tal propósito. A continuación se presentará lo que pretende ser una breve exposición comentada de la cuestión 31, procurando subrayar lo que ya se ha dicho, esto es, la extensión del programa newtoniano en la filosofía natural, entendiendo éste como la búsqueda e implementación de las correspondientes fuerzas en el seno de la filosofía mecánica. Materia, movimiento y fuerzas, no sólo limitadas a la especulación gravitacional, sino extendidas al mundo de la química y al conjunto de interacciones responsables de la estructura y cambios de la materia.

2 LA CUESTIÓN 31 O EL PROGRAMA DE LAS FUERZAS

La filosofía mecánica convirtió en consigna la eliminación de cualidades ocultas como las antipatías, simpatías, afinidades, atracciones u hostilidades, por considerar que éstas poco o nada revelaban de la naturaleza de las cosas, eran una suerte de atavismo que contaminaba con palabrería escolástica el buen decurso de la nueva filosofía natural.

Ésta apostaba mejor por la reducción de cualquier explicación a las categorías mecánicas de materia y movimiento. Descartes y Boyle habían proscrito las cualidades ocultas de la filosofía mecánica. El cambio en la naturaleza había de justificarse, según la vigente filosofía mecánica, en función del recurso primero de la materia en movimiento, cuyo mecanismo natural habría de ser el impulso o el choque. Sin embargo, Newton, heredero iconoclasta de sus enseñanzas, debe el mayor de sus logros en filosofía natural a la introducción de la fuerza de gravedad, un sospechoso recurso de acción a distancia entre partículas materiales, cuyo aire animista parecía recordar la oscura necesidad que los defensores de la filosofía mecánica atribuían a la degradada reputación de los escolásticos con sus cualidades ocultas.

Con todo, esto no quiere decir que Newton no contemplara la posibilidad de una explicación mecánica de las fuerzas a distancia, pero la introducción de las mismas fue la clave del éxito que quiso irradiar desde su dinámica al *corpus* general de la filosofía mecánica.⁵ Desde las distancias cosmológicas entre cuerpos celestes, hasta la escala

⁵ Durante su vida, Newton entretuvo la idea de alguna explicación mecánica para la acción a distancia, pero no parece haber alcanzado una teoría definitiva al respecto. Aunque el talante general de la primera edición de los

terrestre que media la caída de los graves, la fuerza de gravitación había probado ser la clave para la reducción de los fenómenos a mediano y largo alcance, pero, completándolo, ¿acaso no habrían de operar también fuerzas a corto alcance, responsables de la mayoría de fenómenos cuya acción obraría a distancias hasta entonces no reveladas? Dejemos que sea Newton quien, en sus propias palabras, dibuje esta cuestión. En las primeras líneas de la cuestión 31, Newton abre con una interesante declaración en este sentido, allí se lee:

¿No poseen las pequeñas partículas de los cuerpos ciertos poderes, virtudes o fuerzas con los que *actúan a distancia* no sólo sobre la luz, reflejándola, refractándola o inflexionándola, sino también unos sobre otros, para producir una gran parte de los fenómenos de la naturaleza? En efecto, es bien sabido que los cuerpos actúan unos sobre otros por la acción de la gravedad, magnetismo y electricidad. Estos ejemplos muestran el talante y curso de la naturaleza, haciendo que no sea improbable la existencia de *otras potencias atractivas* además de éstas, pues la naturaleza es muy consonante y conforme consigo misma. No examino aquí cómo se puedan realizar estas atracciones. Lo que denomino atracción puede realizarse mediante un *impulso* o cualesquiera otros medios que me resulten desconocidos [...]. Las atracciones de la gravedad, del magnetismo y de la electricidad alcanzan distancias claramente perceptibles, por lo que han sido observadas por ojos vulgares; sin embargo, puede haber otras que alcancen distancias lo suficientemente pequeñas como para haber escapado hasta ahora a la observación (Newton, 1977, p. 325; énfasis mio).

Principia supone la acción de la gravedad a distancia, en la famosa carta a Richard Bentley de febrero 25 de 1692 Newton ya expresaba sus reservas. Escribió: “que la gravedad sea inata, inherente y esencial a la *matéria*, de modo que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través de un vacío sin la mediación de alguna otra cosa por la que y a través de la cual la acción o fuerza pueda ser transmitida de una para la otra es, para mí, un absurdo tan grande que creo que ningún hombre que tenga en cuestiones filosóficas alguna facultad competente de pensar pueda caer en ello. La gravedad debe ser causada por un agente que actúa constantemente en conformidad con ciertas leyes, pero, si ese agente es material o imaterial es una cuestión que dejo a la consideración de mis lectores” (Newton *apud* Cohen & Westfall, 1993, p. 337). Ahora bien, si este agente fuera material, dando lugar a un recurso mecánico, o imaterial, reservando la responsabilidad de la acción de la gravedad a la intervención divina o a la curiosa injerencia de un principio activo, fueron, hablando sucintamente, los polos de oscilación de su pensamiento al respecto. Reparemos en que las cuestiones 17 a 24, introducidas en la segunda edición inglesa, publicada en 1717, recuperan al éter como explicación mecánica para fenómenos entre partículas materiales. En éstas, la célebre disputa con Leibniz se pasea como telón de fondo a las apreciaciones de Newton.

Newton, como hiciera con la gravitación universal, ha ligado, desde las primeras líneas de la cuestión 31, la noción de fuerza a la de atracción y, habiendo dejado claro que existen fuerzas responsables también de los fenómenos eléctricos y magnéticos, señala que pueden existir otras, responsables de los fenómenos a distancias aún menores, a pequeñas distancias hasta entonces imperceptibles. De modo que, sin mayores preámbulos, Newton pasa directamente a ocuparse de los fenómenos de la química y, de ahí, a la estructura de la materia. En efecto, seguidamente la cuestión 31 se extiende en una prolija enumeración de reacciones químicas, que quedan todas reducidas a la acción de una fuerza actuando entre las partículas de las diversas sustancias que las componen. Así, por ejemplo, Newton escribe: “cuando la sal de tártaro se disuelve *per deliquium* ¿acaso no se debe a la existencia de una atracción entre las partículas de la sal de tártaro y las partículas de agua que flotan en el aire en forma de vapor?” (Newton, 1977, p. 325). O más adelante: “el hecho de que las partículas ácidas, que aisladas se destilan con un calor suave, no se separen de las partículas del metal sin un calor muy violento, ¿acaso no confirma la existencia de una atracción entre ellas?” (Newton, 1977, p. 326-7). Y así durante páginas.

Desde la formación de cristales, pasando por la ebullición de sustancias, hasta la reacción de metales en ácidos, con la especial atención prestada a conjeturar sobre la habilidad del *aqua regia* para disolver el oro, pero no la plata, y del *aqua fortis* para disolver la plata, pero no el oro, y todo un catálogo de conocidos fenómenos de la química de entonces podrían deducirse, según Newton, mediante el recurso de una atracción o, mejor, de una fuerza atractiva.

Los químicos que, en general, se declararon sucesores de Newton entendieron el mensaje y buena parte de su esfuerzo posterior fue dedicado a investigar las fuerzas químicas y a intentar cuantificar la misteriosa atracción que operaba en las reacciones de la química. Pero, a diferencia de la gravitación universal que variaba exclusivamente en función de la masa y distancia relativa de los cuerpos o partículas, en las reacciones químicas resultaba, y resulta, imposible hacer abstracción de la sustancia individual.

Esto porque, para cada pareja de supuestos compuestos químicos, las *atracciones* variaban considerablemente, con lo cual la cuantificación de las atracciones químicas se presentaba como una empresa extremadamente compleja. Sin embargo, la creencia en la posibilidad de hacer de la química una especie de dinámica de micropartículas no era infundada. Ésta descansaba, desde luego, en el éxito precedente de la gravitación universal, pero cimentaba su edificio conceptual en la suposición newtoniana de que la materia es *inercialmente homogénea*. Así que hay que tener en cuenta que la colorida exposición de experimentos químicos y, en general, de la química de Newton descansa sobre la subyacente creencia en la noción de una materia compuesta por partículas últimas inercialmente homogéneas, que se agrupan jerárquicamente para dar origen a

las sustancias de la química.⁶ Esto es: partículas últimas, componentes de todo cuerpo material, cuya densidad es siempre la misma. Esta es una idea elegante, aunque intratable en el contexto de la química, que remitía la naturaleza a una sola constante fundamental de inercia. Esto último hacía desaparecer el nivel químico de la filosofía natural. Salvando el anacronismo, se diría que, en la química de Newton, no hay lugar para la noción de elemento químico, es decir, de componentes últimos claramente diferenciables que permitan la identidad del átomo o el micromundo con las sustancias puras de la química experimental; y en vista de que no podemos remitirnos a átomos diferenciables de cada sustancia, sino que todas al final han de estar compuestas por micropartículas semejantes, la química ocupa el lugar de una teoría física de partículas elementales idénticas cuyo movimiento, responsable de las reacciones, es mediado por la acción de una fuerza a corto alcance.

Ahora bien, la homogeneidad inercial también planteaba dificultades para una consistente teoría sobre la composición de la materia, porque si se repara en que Newton ha postulado, desde los *Principia*, la proporcionalidad entre peso y masa inercial, ¿cómo explicar entonces la diferencia de peso entre dos cuerpos de igual volumen si sus componentes tienen la misma densidad? La respuesta natural pasa por recurrir al vacío. Había que llenar la materia de vacío.⁷ La homogeneidad inercial implicaba, entonces, la existencia del vacío en los cuerpos materiales. Tendría que existir una especie de vacío intramaterial; poros, que llenen el espacio entre las partículas últimas que conforman las sustancias de la química.

Desde luego, no fue ninguna novedad la inserción del vacío en la microestructura de la materia. Ya que, aunque Descartes, con su doctrina plenista, considerara al éter, con sus diminutas partículas materiales, como el responsable mecánico del impulso al imprimir movimiento a las partículas inertes de la materia vulgar u ordinaria, como las sustancias de la química, Boyle, inspirador de Newton en el estudio y la experimentación química, ha supuesto que el movimiento aleatorio pero constante de todas las

⁶ De la forma compleja en que la estructura jerarquizada de la materia ha de fraguarse Newton habla en su *De natura acidorum*, 1710 (cf. Thackray, 1970, p. 24-7). En la cuestión 31, para la composición de la materia, interfiere, naturalmente, la acción de microfuerzas. Por otra parte, la complejidad estructural de la materia es apenas soslayada por Newton. Sin embargo, a este respecto nos dice: “ahora bien, las menores partículas de la materia pueden adherirse con las mayores atracciones para formar partículas mayores de menor poder. Muchas de éstas pueden adherirse para formar partículas aún mayores cuya fuerza sea aún menor, y así durante muchas sucesiones hasta que la progresión termine en las partículas mayores de que dependen las operaciones de la química y los colores de los cuerpos naturales y que, al adherirse, forman cuerpos de magnitud perceptible” (Newton, 1977, p. 340-1).

⁷ Al presuponer la homogeneidad inercial de la materia, Newton debe justificar la proporcionalidad entre peso y masa inercial. Ésta es defendida en un conjunto de corolarios a la proposición 6 del libro III de los *Principia*. Pero la arbitrariedad de la homogeneidad inercial que Newton atribuyó a la materia fue señalada expresa y lúcidamente por Roger Cotes (cf. Edleston, 1850, p. 65-9, 73, 75-6).

partículas es responsable del impulso y que las reacciones químicas no son causadas por un éter ni por una atracción sino que dependen de la posible correspondencia entre los tamaños y formas de los poros de una sustancia con los tamaños y formas de las partículas de otra sustancia que interviene en la reacción química estudiada.

Al igual que Boyle, Newton atribuye parte de la reacción química a los tamaños relativos entre poros y partículas de las sustancias que intervienen en las reacciones pero, a diferencia de éste y de todos los filósofos mecánicos que le precedieron, atribuye el resultado dinámico de la reacción, es decir, el movimiento de las partículas o la resistencia al mismo, a la acción de una fuerza atractiva. Esta es la contribución original de Newton. Es este también el caso para la ya citada diferencia entre los efectos que sobre el oro y la plata se operan cuando se disuelven uno u otra con el *aqua fortis* o el *aqua regia*. Newton ha tratado de justificar estas diferencias en la solubilidad de las sustancias como efecto de la atracción entre partículas sumada al efecto del tamaño relativo de los poros entre las partículas de los metales y el tamaño de las partículas de las sustancias ácidas (cf. Kuhn, 1951; Boas & Kuhn, 1952).

Con lo anterior, quiero insistir en que una lectura juiciosa de la cuestión 31 nos revela a un Newton que se sirve del estudio de las reacciones químicas como principal soporte experimental para investigar la naturaleza de las fuerzas que actúan a corto alcance entre las partículas que componen los cuerpos, pero el recurso experimental para el estudio de las fuerzas de la naturaleza no se agota en los fenómenos de la química. De hecho, la misma fuerza responsable de las reacciones químicas parece suficiente para explicar incluso la cohesión de los cuerpos sólidos.

Veamos como Newton contrasta su pensamiento al respecto con las hipótesis más características de la filosofía mecánica:

Las partes de todos los cuerpos homogéneos y duros que se tocan plenamente se unen con gran *fuerza*. A fin de explicar cómo pueda ser eso, algunos han inventado átomos ganchudos, que es lo mismo que responder con lo mismo que se pregunta; otros nos dicen que los cuerpos se pegan por el reposo, es decir, por una cualidad oculta o más bien por nada, y aún otros nos dicen que se pegan por movimientos coincidentes, es decir, por reposo relativo. Yo más bien infiero de su *cohesión* que las partículas se atraen entre sí por cierta fuerza que resulta extremadamente grande con el contacto inmediato, mientras que a distancias pequeñas realiza las operaciones de la química anteriormente mencionadas, sin que tenga efectos apreciables a una distancia no muy grande de las partículas (Newton, 1977, p. 336).

Así que desde la gravitación, pasando por la electricidad y el magnetismo para llegar hasta la química y la cohesión de los cuerpos, el estudio de las fuerzas llena el persistente fuero investigador de Newton. Esta dedicada actividad, recogida como tes-tamento intelectual en la cuestión 31, había ocupado su pensamiento durante décadas. La gravitación universal había visto la luz del mundo en la celebrada publicación de los *Principia* en 1687 (aunque presumiblemente data del *annus mirabilis* 1665-1666⁸), las fuerzas de las operaciones de la química ya habían sido consentidas por Newton desde su remota incursión en el estudio alquímico y prueba de esto ha quedado documentada en su único tratado químico publicado en 1710 bajo el título de *De natura acidorum*, pero que al parecer había circulado como manuscrito entre los estudiosos desde hacía más de dos décadas.

La cuestión 31 apareció por primera vez en la edición latina de la *Óptica* de 1706, numerada entonces como la 23, contenía la mayoría de sus apreciaciones sobre las fuer-zas químicas y las fuerzas generales. Sin embargo, en 1717, Newton añade un interesante fragmento a la cuestión 31, que versaba sobre los experimentos que Francis Hauksbee realizó en 1706, en busca de las fuerzas a corto alcance. Está claro que la exposición de estos experimentos está teñida de un talante algo distinto al que caracteriza el resto de exposiciones sobre la dinámica de microfuerzas de la cuestión 31. Pues, para ilustrar-los, Newton no sólo hace gala de su ingenio al argumentar en favor de la existencia de fuerzas responsables de algún fenómeno conocido, sino que, en vista de que los expe-rimentos han sido montados en función de un propósito específico, a saber, la investi-gación y determinación de las microfuerzas, ha ido mucho más lejos.

En la redacción de este fragmento, Newton abandona completamente el tono interrogativo que caracteriza todas las cuestiones y vislumbra mecanismos para esta-blecer relaciones probables entre las variables dinámicas que intervienen en la atrac-ción. Llega incluso a delinear alguna inconclusa cuantificación de una de estas fuerzas de corto alcance. Por ejemplo, tras explicar el procedimiento que habría de seguirse para establecer la fuerza atractiva entre una gota de aceite de naranjas o de espíritu de trementina y un par de láminas de cristal pulimentado, concluye: “de este modo, se puede averiguar la fuerza con la que la gota resulta atraída a cualesquiera distancias de la confluencia de los cristales” (Newton, 1977, p. 339). Y más adelante, luego de evaluar los resultados, o los datos, para hablar con mayor rigor, sobre el mismo experimento,

⁸ El *annus mirabilis* (1665-1666) es un período figurativo de tiempo, en el que Newton, obligado por la plaga, se retiró en solitario a trabajar en Woolsthorpe durante presumiblemente más de 20 meses. De aquel período proceden discutiblemente las ideas germinales de su obra científica (cálculo, óptica, gravitación universal). Florian Cajori (1928) ha perpetuado la leyenda que ubica todos estos monumentos en un período literal de un año. Algunos co-mentadores como Haskel (1970) le han seguido parcialmente. Sin embargo, véase Gleick (2003) para una versión alternativa. Cf. también Hall & Hall, 1970.

sentencia: “por tanto, la atracción dentro de la misma cantidad de superficie atrayente es inversamente proporcional a la distancia entre los cristales” (Newton, 1977, p. 340).

En todo caso, más allá de lo detalladas, fiables y reveladoras que puedan parecer las apreciaciones de Newton sobre los experimentos de Hauksbee, resulta de especial interés la intención que las recorre. Éste queda en evidencia cuando Newton cierra el pasaje dedicado a estos experimentos y escribe las líneas que sus herederos intelectuales terminarían identificando como el auténtico programa newtoniano, a saber, la búsqueda de la unidad formal de las fuerzas en la filosofía natural. Allí, claramente y sin redondeos, Newton remata esta serie de apreciaciones escribiendo: “así pues, hay agentes en la naturaleza capaces de hacer que las partículas se adhieran con atracciones potentísimas que corresponde descubrir a la filosofía natural” (Newton, 1977, p. 340).

Y la filosofía natural, ya fuera en su transición hacia el rigor de la investigación en física o en su esperanza en cristalizar una química al estilo newtoniano, no ignoró esta misión emblemática. Para la física, la posterior formulación cuantitativa de la fuerza electrostática postulada como una acción a distancia que depende de las cargas y las distancias relativas entre partículas, muy al estilo newtoniano, pareció confirmar que el camino trazado por Sir Isaac Newton era el único a seguir en el progresivo intento por construir una auténtica ciencia matemática. Por su parte, los practicantes de la química, después de Newton, también seducidos por el vastísimo influjo de la filosofía experimental matematizable al estilo newtoniano, intentaron infructuosamente, durante buena parte del período de la Ilustración, la reducción de su química a una teoría dinámica que permitiese la aproximación a una química cuantitativa. Pero, en este caso, sólo hasta que el programa newtoniano, con sus fuerzas y su materia inercialmente homogénea, fue abandonado y sustituido por la ingeniosa transición operada desde las ideas de Dalton, la química pudo avanzar con paso firme hacia la moderna química de los elementos.⁹

Ahora bien, volviendo a la discusión central que nos ocupa, las sugestivas fuerzas, que Newton pretende instaurar desde la cuestión 31 en los fenómenos de la filosofía mecánica, no fueron limitadas simplemente a la enunciación progresiva de experiencias más o menos justificadas por la acción de una fuerza de atracción entre partículas al estilo de la fuerza de gravedad, pues Newton indica también que “del mismo modo que en álgebra, donde se desvanecen y cesan las cantidades positivas comienzan las negativas, así en mecánica donde cesan las atracciones ha de aparecer una virtud repulsiva” (Newton, 1977, p. 341). Y esta virtud repulsiva, que no es otra cosa que una fuerza de repulsión entre partículas, puede inferirse de un interesante con-

⁹ Sobre la repercusión de las ideas químicas de Newton en la filosofía natural de la Ilustración y la química general, cf. el completo estudio de Thackray, 1970.

junto tanto de fenómenos naturales como de hechos experimentales, que incluyen la emisión de la luz, la producción de vapor, el hecho de que las moscas puedan caminar sobre el agua sin mojarse las patas, que los objetivos de grandes telescopios estén uno sobre otro sin tocarse y el conocido fenómeno de las dos placas de mármol pulimentado que no se juntan lo suficiente.

Con lo anterior, Newton ha querido abarcar un extenso panorama experimental que justifique la omnipresencia de fuerzas entre partículas materiales. Así que tras elucidar sobre los fenómenos mediados por fuerzas de repulsión, Newton, casi a manera de corolario, sentencia:

Así, la naturaleza ha de ser muy simple y concorde consigo misma, realizando todos los grandes movimientos de los cuerpos celestes con la atracción de la gravedad que media entre ellos y casi todos los movimientos pequeños de sus partículas con otros poderes atractivos y repulsivos que median entre ellas (Newton, 1977, p. 343).

Aunque no haya dicho con precisión cuáles han de ser estos otros poderes, o fuerzas, ha dejado claro que corresponde a la filosofía natural su investigación (cf. Newton, 1977, p. 340).

El propio Newton ha enseñado el tratamiento dinámico de los fenómenos entre partículas sometido a la acción de una fuerza y, al dar por supuesto que las fuerzas inundan la naturaleza de todos los fenómenos materiales, propone, como ya se ha dicho, averiguar dichas fuerzas. Aquí se han intentado dibujar los argumentos que en este sentido el insigne filósofo despliega en la cuestión 31 y justificar su contexto. ☞

Deseo agradecer al Doctor José Romo del Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Barcelona por su atenta lectura comentada de este artículo.

Favio ERNESTO CALA VITERY

Phd. Filosofía (candidato UAB),

Centro de Estudios en Historia de las Ciencias (CEHIC),

Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.

faviocala@gmail.com

ABSTRACT

In its final form, Newton's *Optics* closes its third book with 31 queries. The last one – the most extensive – is intended, among other things, to picture a universe submitted to several forces. In this way, the success achieved by introducing a force acting at distance between material bodies such as universal gravitation was projected to be extended to the general set of phenomena delimited by natural philosophy. It is argued that the difficulty of this enterprise is justified by the premature condition shared by the new experimental or Baconian sciences that, unlike *Principia*'s dynamics, would resist a rapid mathematical formalism following the Newtonian style. This is: the mediation of a force acting at distance as the key for the general synthesis of natural phenomena. A glance at Newton's query 31 allows us to follow him in his intention to investigate and to install an unifying program of the possible forces of nature.

KEYWORDS • Newton. Optics. Mechanical philosophy. Force. Dynamics.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOAS, M. & KUHN, T. S. Newton and the theory of chemical solution. *Isis*, 43, p. 123-4, 1952.
- BRASCH, F. E. (Ed.). *Sir Isaac Newton, 1727-1927*. New York: Williams & Wilkins, 1928.
- CAJORI, F. Newton's twenty years' delay in announcing the law of gravitation. In: BRASCH, F. E. (Ed.). *Sir Isaac Newton, 1727-1927*. New York: Williams & Wilkins, 1928. p. 127-88.
- COHEN, I. B. & WESTFALL, R. S. (Ed.). *Newton*. New York: Norton, 1993.
- EDLESTON, J. *Correspondence of sir Isaac Newton and professor Cotes*. London: [s./n.], 1850.
- GLEICK, J. *Isaac Newton*. New York: Pantheon Books, 2003.
- HALL, A. R. & HALL, M. B. Newton and the theory of matter. In: PALTER, R. (Ed.). *The "annus mirabilis" of Sir Isaac Newton, 1666-1966*. Cambridge: MIT Press, 1970. p. 54-67.
- HASKEL, F. The apotheosis of Newton in art. In: PALTER, R. (Ed.). *The "annus mirabilis" of Sir Isaac Newton 1666-1966*. Cambridge: MIT Press, 1970. p. 302-21.
- KOYRÉ, A. Galileo and the scientific revolution of the seventeenth century. *Philosophical Review*, 52, p. 338-48, 1943.
- _____. *From the closed world to the infinite universe*. New York: Harper, 1958.
- KUHN, T. S. Newton's 31st query and the degradation of gold. *Isis*, 42, p. 296-8, 1951.
- _____. Mathematical versus experimental tradition in the development of physical science. *The Journal of Interdisciplinary History*, 7, p. 1-31, 1976.
- NEWTON, I. *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*. Trad., introd. y notas de C. Solís. Madrid: Alaguara, 1977.
- PALTER, R. (Ed.). *The "annus mirabilis" of Sir Isaac Newton, 1666-1966*. Cambridge: MIT Press, 1970.
- THACKRAY, A. *Atoms and powers: an essay on Newtonian matter-theory and the development of chemistry*. Cambridge: Harvard University Press, 1970.