

# METODOLOGÍA ‘CIENTÍFICA’ EN LA EXPLICACIÓN DE LA FUERZA GRAVITACIONAL

ANOTACIONES SOBRE LA CAUSALIDAD ONTOLÓGICA DE LA FUERZA EN ISAAC NEWTON\*

SERGIO  
HERNÁN  
OROZCO

sergiohorozco@gmail.com

Universidad  
de Antioquia

**Resumen:** La conceptualización matemático–experimental de la fuerza de gravitación universal, tal como la postula Isaac Newton en sus *Principia*, no constituye —en contra de la visión centrada en su actividad científica— una realización acabada y última. Lo que se ha denominado la causalidad ontológica de la fuerza, i.e. la pregunta por la naturaleza del agente responsable de la acción de la fuerza gravitatoria, no queda excluida del ámbito de la investigación científica y relegada a la metafísica o a la teología, como pretende Cohen. El artículo muestra cómo una correcta interpretación de la metodología científica de Newton, i.e., el esclarecimiento de sus límites y alcances, proporciona elementos importantes en la comprensión del problema de la causalidad ontológica de la fuerza.

**Palabras clave:** Isaac Newton, gravitación universal, historia de la ciencia, filosofía moderna, teología, alquimia, metafísica, mecánica racional, filosofía de la ciencia.

**Abstract** (*‘Scientific’ Methodology in the Explanation of Gravitational Force: Annotations on the Ontological Causation of Force in Isaac Newton*): The experimental and mathematical conceptualization of the force of universal gravitation, such as it has been set forth by Isaac Newton in his *Principia*—contrary to the interpretation centered on his scientific work— is not a finished realization. What has been called the ontological causation of force, that is, the question about the nature of the agent responsible for the action of gravitational force, is not excluded from scientific inquiry and relegated to metaphysical and theological domains, as Cohen expects. The paper shows how a correct interpretation of the problem of the ontological causation of force arises from a correct interpretation of Newton’s scientific methodology, that is, from a clarification of its scopes and limits.

**Keywords:** Isaac Newton, universal gravitation, history of science, modern philosophy, theology, alchemy, metaphysics, rational mechanics, philosophy of science.

Explicar toda la naturaleza es una tarea demasiado difícil para un hombre cualquiera o incluso para una edad cualquiera. Es mucho mejor hacer un poco con certeza y dejar el resto para otros que vengan después, que explicar todas las cosas por conjetura sin asegurarse de ninguna cosa.

ISAAC NEWTON

(University Library, Cambridge, Ms. Add. 3970.3, fol. 479<sup>r</sup>)

Lo que la historiografía newtoniana ha denominado ‘la causalidad ontológica de la fuerza’ constituye uno de los asuntos centrales en el itinerario intelectual de la madurez de Isaac Newton, el periodo posterior a la publicación de su monumental *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687)<sup>1</sup> (cf. McGuire 1995: 190–238). Este periodo está marcado por profundas reflexiones acerca de problemas conceptuales que surgen de su filosofía natural o son presupuestos por ella (cf. McGuire 1970: 178). Si bien la metodología científica propuesta y aplicada en los *Principia* permite a Newton desarrollar teorías matemáticas y físicas del movimiento y la fuerza con cierta independencia de la consideración de su

\* Este texto deriva de mi investigación monográfica titulada «La Naturaleza de la Creación. Un estudio sobre la filosofía natural de Isaac Newton». Agradezco las amables sugerencias de los jurados de esta revista, gracias a las cuales este artículo adquirió una forma más clara y precisa. Las citas donde no se señala traductor específico son de mi responsabilidad.

<sup>1</sup> Para las citas de esta obra utilizo la edición *variorum* de Koyré y Cohen (Newton 1972). La traducción de los pasajes es mía.



<sup>2</sup> Cohen afirma que la “imaginación” de Newton se encuentra controlada por su temple matemático: “Las matemáticas servían inme-diatamente para disciplinar su imaginación creadora, enfocando o agudizando por consiguiente su productivi-dad, así como para dotar a su imaginación de nuevos y singulares poderes” (Cohen 1980: 72). Esto sería plau-sible sólo en un restringido contex-to de la exploración del movimiento bajo fuerzas centrípetas en los *Principia*. Además, no deja de parecerme un vestigio de la historiografía heroica que «[...]tiene una estructura narrativa unificadora que permite que la historia sea totalizada, dotándola así de alcance espacio-temporal y significado evaluativo» (Tuchanska, 2004, 71). Basta leer la *Hipótesis que explica las propiedades de la luz de 1675* o incluso las *Questio-nes* de las diversas ediciones de los *Opticks* para ver que la asunción de Cohen es un prejuicio positivista *a priori*, difícilmente fundado en evidencia textual —a excep-ción, como dije, de los *Principia* y los textos de matemáticas puras y mixtas que, evidentemente, no agotan el genio científico de Newton.

<sup>3</sup> Esta afirmación de Co-hen, que asevera el realismo de Newton, se apoya en un conocido pasaje del Escolio General de los *Principia*: «Es suficiente que la grave-dad exista verdaderamente (*revera existat*) y actúe se-gún las leyes expuestas por nosotros” (Newton 1972: 764). *Vide* nota 23, *infra*.

<sup>4</sup> La discusión sobre la aplicación del «estilo de Newton» en los *Opticks* es

mecanismo de acción, no por esto la pregunta por el agente responsable de la misma queda excluida.

A mi juicio, el lugar que ocupa la cuestión de la causalidad ontológica de la fuerza depende, en gran medida, de la interpretación que se haga de la metodología científica de Newton. Para sustentar esta posición examinaré la más célebre interpretación del proceder newtoniano, llevada a cabo por Bernard Cohen en su libro *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas* y comúnmente conocida como el «estilo de Newton». Seguidamente, argumentaré que dicha interpretación no satisface características fundamentales —incluso algunas que Newton mismo se impone— y que, producto de estas falencias, el problema de la causalidad ontológica de la fuerza se concibe como una ‘secuela’ de la metodología científica. Finalmente, señalaré los presupuestos de una correcta interpretación del problema de la causalidad ontológica de la fuerza desde la pluralidad disciplinaria que en él confluye.

### I. EL «ESTILO DE NEWTON»

Según Bernard Cohen, uno de los más importantes estudiosos de la mecánica de Newton, la manera como éste trata los problemas naturales puede entenderse en tres fases: 1) A partir de condiciones matemáticas iniciales, análogas a las del mundo físico (masa, movimiento, fuerza y las leyes del movimiento), se inicia la exploración matemática de las consecuencias de algunos modelos imaginarios,<sup>2</sup> tal como la consideración del movimiento de masas puntuales bajo la acción de fuerzas inversamente proporcionales (al cuadrado o al cubo) de la distancia. Esta primera fase se encontraría en proposiciones como la I y la II del Libro I de los *Principia*. 2) Posteriormente, Newton compararía los modelos matemáticos abstractos con la naturaleza y las disparidades lo llevarían a replantear el modelo, generando así una nueva fase 1. Luego de un interludio que oscila en el juego de fases 1 y 2 se llegaría a 3) Cuando el sistema está lo suficientemente desarrollado y puede considerarse como un análogo de la realidad, se predicen y retrodicen fenómenos, de acuerdo con los datos empíricos conocidos, y puede afirmarse ya que el sistema ha captado algunos rasgos característicos de la realidad (*cf.* Cohen 1980: 82–98).<sup>3</sup>

Desde este punto de vista, los dos primeros libros de los *Principia* mostrarían un desarrollo gradual de un sistema de un cuerpo que progresivamente se complica hasta conseguir un análogo matemático del sistema planetario, en el que se encontrarían involucrados múltiples cuerpos y fuerzas centrípetas e inerciales.

Esta interpretación se apoya, principalmente, sobre la estructura en que se organizan los *Principia* —y la *Opticks*<sup>4</sup>— (I.I.I) y en un conocido pasaje que se encuentra en el final del escolio a la Sección XI del Libro I de los *Principia* (I.I.2).



## I.I. LOS FUNDAMENTOS DEL «ESTILO DE NEWTON»

### I.I.I. *La estructura de los Principia*

La estructura de los *Principia* puede entenderse a partir de los títulos mismos de los tres libros que la componen. Los dos primeros se titulan *De Motu Corporum (Sobre el movimiento de los cuerpos)* y el tercero *De Mundi Systemate (Sobre el sistema del mundo)*. Los dos primeros libros exploran *matemáticamente* el movimiento de puntos —que posteriormente se convertirán en masas— bajo la acción de fuerzas ‘centrípetas’, término que acuña Newton siguiendo la *vis centrifuga* de Huygens para referirse a una fuerza tendente a un centro. El objeto de esta exploración es claro: qué tipo de trayectorias recorre(n) una(s) masa(s) bajo fuerza(s) centrípeta(s) directamente proporcional(es) a las masas e inversamente proporcional(es) —al cuadrado, al cubo— de la distancia. En términos generales, se exploran las trayectorias de cuerpos (entendiendo por estos puntos matemáticos o máscicos) bajo el influjo de fuerzas centrípetas de diferentes características. El Libro I comienza con el movimiento de un punto bajo la acción de una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia alrededor de un centro. Progresivamente el sistema se va complicando, haciendo intervenir varios puntos y sustituyéndolos posteriormente por masas puntuales. El sistema llega a sus mayores estadios de complejidad (a partir de la Sección XI) cuando hay varios cuerpos interactuando unos con otros y no sólo giran en torno a una masa puntual, sino también en torno a un centro cercano a esta masa. La consecuencia es un movimiento de los cuerpos que recorre una trayectoria elíptica, cuyos focos son una masa puntual y un centro de atracción muy cercano a esta masa.

Lo curioso de este desarrollo es que, en algunos casos, Newton parece desviarse de una exploración progresiva de condiciones simples a otras más complejas, suponiendo que persigue la creación de un modelo matemático con miras a establecer un análogo del sistema del mundo. Veamos algunos detalles.

Es claro que para Newton la fuerza centrípeta real —la que existe en el mundo— es una fuerza directamente proporcional a las masas de los cuerpos en cuestión e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias, lo cual produce un movimiento orbital elíptico, tal como queda establecido en el Libro III. Sin embargo, la exploración matemática de fuerzas centrípetas y del movimiento de los cuerpos en secciones cónicas excéntricas no se restringe únicamente a fuerzas centrípetas en esas proporciones ni a la exploración del movimiento en órbitas elípticas. Si el desarrollo matemático de los *Principia* estuviera orientado *únicamente* a la construcción de un modelo matemático de la realidad, como afirma Cohen, no hay razón para hallar en el Libro I tantos desarrollos que definitivamente no cumplen esta función, como la exploración del movimiento de un cuerpo en un espiral (Proposición IX), el movimiento de un cuerpo en una hipérbola (Proposición XII) y la atracción de dos cuerpos con fuerzas que decrecen en razón simple de sus distancias (Proposición LXIV y la mayoría de las proposiciones de la Sección XIII). Esto no quiere decir que la fuerza centrípeta en proporción inversa al cuadrado de las distancias y en proporción directa a las masas no reciba un tratamiento más detallado, al igual que el movimiento de cuerpos en trayectorias elípticas. Lo que quiero resaltar es que el «estilo de Newton» no logra dar cuenta satisfactoriamente del

realmente sintomática de las dificultades con las que se enfrenta la aceptación de la interpretación de Cohen (1980: 154-162). Según él, Newton creía estar aplicando «su» estilo en el tratamiento de la luz y los colores, pero éste sólo puede evidenciarse en óptica yendo más allá de lo publicado al respecto: habría que recurrir a manuscritos y a las juveniles *Lectiones Opticae* (1672). Ahora bien, el recelo de Newton por publicar es ampliamente conocido, y las minuciosas correcciones de sus publicaciones han dado suficiente trabajo (y seguirán dando) a los especialistas. Así las cosas, ¿por qué Newton habría de guardar para sí (y para él, hasta entonces, no consultado archivo en el que depositaba sus lecciones como profesor lucasiano) sus mejores ejemplos de matematización de los problemas ópticos, donde aplica su contribución más revolucionaria a la ciencia, su «método increíblemente eficaz para abor-dar matemáticamente las realidades del mundo exterior»? (Cohen, 1980, 70).



## Sergio Hernán Orozco

complejo desarrollo de los *Principia*.

### I.I.2. *El Escolio a la Sección XI del Libro I*

Al final de este Escolio se afirma:

(1) En matemáticas se han de investigar las magnitudes de las fuerzas y las razones que se siguen en cualesquiera condiciones supuestas; (2) después, al descender a la física (*ubi in physicam descenditur*), hay que comparar (*conferendæ sunt*) estas razones con los fenómenos, para que aparezca cuáles condiciones de esas fuerzas corresponden (*competant*) a cada clase de cuerpos atractivos. (3) Y sólo después será posible discutir con más seguridad sobre las clases de fuerzas, las causas y las razones físicas (Newton 1972: 298. La enumeración es mía, para mostrar la distinción en que se fundamentan los pasos del «estilo de Newton». cf. Cohen 1980: 88–98).

La aparición de este escolio en esta sección responde a un asunto de claridad. En las secciones anteriores se había explorado la acción de fuerzas centrípetas entre dos cuerpos. A partir de la Sección XI —«Sobre el movimiento de cuerpos que tienden unos a otros con fuerzas centrípetas»— Newton procederá con un sistema de tres cuerpos, lo que hace que ya no se pueda hablar de la acción de fuerzas centrípetas como impulsos o tendencias, sino como atracciones. Para aclarar que usa el término en sentido matemático y no físico hace una breve introducción y añade este escolio.

El punto es importante porque nos muestra el límite en que los diferentes niveles de explicación, en este caso matemáticos y físicos, se encuentran. A estas alturas (Sección XI), Newton quería aclarar que hablaba como matemático y no como físico y que si bien hablaba de atracción (*attractio*), lo hacía en un sentido puramente matemático. No obstante, para los filósofos mecanicistas una conceptualización atractiva de la fuerza implicaba el rechazo del éter, ese medio misterioso, imperceptible por definición, que había servido como argumento *ad hoc* para cuanto fenómeno se presentase. Sin embargo, la confusión entre estos dos niveles por parte de los continentales no se hizo esperar. Tal como ha dicho Westfall, comentando el pasaje introductorio a la sección XI: “Aunque hubiese proclamado cincuenta veces su renuncia a una hipótesis, o cincuenta veces cincuenta, no hubiese podido ahogar la cólera de los filósofos mecánicos” (Westfall, 1996, 235).<sup>5</sup>

Miremos ahora con cuidado este importante escolio. Según Cohen, la primera fase del «estilo de Newton» representa la construcción matemática de un modelo análogo a la realidad. Como hemos visto, la estructura del Libro I de los *Principia*<sup>6</sup> difiere en algunos puntos de la perspectiva de Cohen, esto es, el desarrollo matemático no está orientado *únicamente* a la construcción de un análogo de la realidad (I.I.I). De modo que el primer punto del «estilo de Newton» debe reinterpretarse. Newton no está diciendo que deben explorarse las condiciones matemáticas de la fuerza que él cree existe en el mundo, sino que deben explorarse las magnitudes de las fuerzas (en general) y las consecuencias que de esto se siguen. Así, lo que Newton está proponiendo es una teoría *genérica* de las fuerzas, es decir, el Libro I es un tratado puramente matemático en el que se consideran las magnitudes y consecuencias del movimiento bajo una amplia gama de fuerzas diferentes, no una exploración de condiciones progresivas que se ejecuta hasta llegar a duplicar la realidad.<sup>7</sup> Desde esta perspectiva, las variantes de la fuerza

<sup>5</sup> La primera crítica continental, aparecida en el *Journal de Sçavans*, reclamaba el reemplazo de los movimientos supuestos por los verdaderos, falacia surgida de la hipótesis absurda del principio de atracción. Huygens y Leibniz, en su correspondencia privada sobre los *Principia*, se refieren a la fuerza como atracción en términos semejantes. (Cf. Huygens a Leibniz, y Leibniz a Huygens, en Huygens 1888–1950: IX, 521ss y IX, 536ss, respectivamente).

<sup>6</sup> Para mi argumentación me limitaré al estudio del Libro I de los *Principia*, dado que el II explora el movimiento de los cuerpos en medios resistentes y, de este modo, no constituye una demostración directa del funcionamiento del sistema del mundo —más bien constituye una demostración directa de cómo no funcionaría—.

<sup>7</sup> Para una interpretación similar véase Smith 2002: 148. Este punto de la interpretación de Smith y otro que retomaré más adelante (el de los ‘inference-tickets’) son de gran importancia. Sin embargo, sigue defendiendo el «estilo de Newton» y lo considera pertinente y apropiado para dar cuenta del proceder en los *Principia*. Cf. Smith 2002: 154ss.

## Metodología ‘científica’ en la explicación de la fuerza gravitacio-

que efectivamente se darían en el mundo son, no sólo comprensibles y explicables, sino necesarias.

Esta clarificación nos permite pasar a la segunda fase. Según Cohen, Newton contrastaría los modelos matemáticos con los datos empíricos para complicarlos hasta el punto en que se puedan decir análogos a la realidad. Pero, definitivamente, el Libro I no contiene tal contrastación. Lo único en este Libro que se acerca a lo que propone Cohen son «escolios filosóficos» que Newton aclara ha introducido para hacer menos árida la investigación matemática, pero que, en sentido estricto, no entran en el orden de la exposición.<sup>8</sup> Él mismo dice que son ilustraciones, pero en ningún momento dice, como sugiere Cohen, que juegan un papel activo y depurador en la construcción de los modelos matemáticos. El mundo físico y los datos empíricos sólo aparecen en el Libro III, *De Mundi Systemate (Sobre el sistema del mundo)*. Allí lo que se hace es, *en parte*, lo que Cohen llama la segunda fase. En palabras de Newton: «[...] hay que comparar estas razones [los modelos matemáticos] con los fenómenos, para que aparezca cuáles condiciones de esas fuerzas corresponden a cada clase de cuerpos atractivos» (Newton 1972: 298). Es decir, luego de tener una teoría genérica sobre las fuerzas y sus consecuencias de movimiento, se procede a buscar cuáles de estos modelos matemáticos corresponden (*competant*) a cada clase de fenómeno. Esto se realiza en las primeras proposiciones del Libro III, en las que Newton compara el movimiento de los planetas y sus satélites con el sistema matemático de una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de las distancias y directamente proporcional a sus masas —fuerza que produce un movimiento elíptico—. Ejemplo de lo anterior es lo que se hace con Júpiter, Saturno y sus satélites (Proposiciones I y V), con los planetas primarios (Proposición II), con la Luna y su órbita en torno a la Tierra (Proposiciones III y IV). La demostración de estas proposiciones combina la serie de fenómenos con que se abre el Libro III<sup>9</sup> y la teoría matemática del Libro I.<sup>10</sup> No es que Newton complique el modelo hasta hacerlo análogo a la realidad; más bien reflexiona, a partir de los datos empíricos, cuál de los múltiples modelos matemáticos se adecua con los datos, de modo que permita predecir y retrodecir fenómenos. En un *draft* de un prefacio a la *Opticks* de 1704 dice, refiriéndose a los *Principia*:

Entonces, usando esta fuerza [la gravitación universal] como un Principio de Filosofía, derivé de ella los movimientos de los cuerpos celestes y el flujo y reflujo del mar, mostrando por demostraciones matemáticas que esta sola fuerza era suficiente para producir todos aquellos fenómenos, y derivando de ella (*a priori*) algunos nuevos fenómenos, que los Astrónomos no habían observado entonces, pero desde entonces aparecieron ser verdaderos (University Library, Cambridge, Ms. Add, 3970.3, folio 480<sup>v</sup>. Los paréntesis son de Newton).

La fuerza gravitacional se establece matemáticamente en el Libro I. Una vez se ha demostrado que ella es la que corresponde con la naturaleza, se demuestran los fenómenos conocidos y se predicen comportamientos y fenómenos desconocidos, utilizando técnicas matemáticas. El modelo mismo no está empíricamente construido, si bien se deduce estrictamente de las Leyes del Movimiento que son, para Newton, principios establecidos inductivamente.<sup>11</sup>

Analicemos ahora cómo se da el paso de los «principios matemáticos» a la «filosofía natural». Las proposiciones del Libro I son del tipo “si-entonces”,<sup>12</sup> donde el “si” va seguido de una condición observable y el “entonces” de una *causa* matemática de



<sup>8</sup> Esta aclaración se encuentra al comienzo del Libro III, donde se da la transición de los principios matemáticos a la filosofía natural. Newton dice: «En los libros precedentes traté principios de la filosofía, aunque no tanto filosóficos como matemáticos (*non tamen philosophica sed mathematica*), sobre los que tal vez puedan disputarse algunas cosas filosóficas... Sin embargo, para que no parecieran estériles (*ne sterilia videantur*), los he ilustrado (*illustravi*) con algunos escolios filosóficos en los que he tratado sobre aquellas cosas que son más generales y en las cuales la filosofía parece hallar un mayor fundamento» (Newton 1972: 549). En el limitado contexto de esta afirmación, filosofía debe entenderse como ‘filosofía natural’ o física. Sin embargo, esto no siempre es operante y ha sido causa de malos entendidos.

<sup>9</sup> El Libro III, en la primera edición, se abre con las *Hypotheses*, un conjunto de reglas en que Newton ofrece sus principios metodológicos y regulativos de investigación científica y una serie de seis fenómenos en que se caracterizan, a partir de datos empíricos, las regularidades de los movimientos planetarios. En las ediciones posteriores de los *Principia* (1713 y 1726) estas secciones se cambian de manera radical y se distinguen las reglas (*Regulae Philosophandi*) de los fenómenos (*Phaenomena*). Las variantes se recogen en Newton 1972: 550–563. Un completo y aún vigente estudio se encuentra en Koyré 1968.

<sup>10</sup> Por ejemplo, la proposi-



ción I, sobre el movimiento de los satélites de Júpiter en torno a él, se prueba, «per phænomenon primum, & propositionem secundam vel tertiam libri primi [Por el fenómeno I y las proposiciones II y III del Libro I]» (Newton 1972: 564). Las demás proposiciones tienen pruebas semejantes, esto es, combinan los fenómenos y la teoría matemática del Libro I.

<sup>11</sup> En *De Motu Corporum in Gyrum*, el primer pequeño tratado del que surgirían los *Principia*, Newton no llama a las leyes del movimiento ‘leyes’, sino hipótesis (Herivel 1965: 257–258). En una versión siguiente, *De Motu Sphaericorum Corporum in Fluidis*, las llama leyes (Herivel 1965: 294–295). En la versión publicada pervive aún un eco del carácter hipotético (es decir, fenómeno obtenido inductivamente): «Axiomata sive Leges Motus [Axiomas o leyes del movimiento]» (Newton 1972: 54).

<sup>12</sup> Las demás podrían decirse encaminadas al establecimiento de las condiciones matemáticas para generar proposiciones

lo anterior. Tomemos, por ejemplo, la proposición II: «Todo cuerpo que se mueva en una curva descrita en un plano y, con un radio trazado a un punto, inmóvil o en movimiento rectilíneo uniforme, (y) describa áreas en torno a tal punto proporcionales a los tiempos, es empujado (*urgetur*) por una fuerza centrípeta tendente a ese punto» (Newton 1972: 92). La primera parte de la proposición establece unas condiciones que, de cumplirse, legitimarían concluir que tal cuerpo responde a una condición establecida en la segunda parte de la proposición. Así, cuando se observe que un cuerpo se mueve en una curva descrita en un plano y con un radio trazado a un punto..., debe concluirse que dicho cuerpo está actuando bajo la acción de una fuerza centrípeta. Este tipo de proposiciones, estrictamente deducidas de las leyes del movimiento por medio de la geometría euclidiana y del «método de las razones primeras y últimas», son llamadas por Smith «inference-tickets», término que introduce para explicar cómo este tipo de proposiciones permiten hacer inferencias desde los modelos matemáticos cuando se encuentren ciertas condiciones empíricas. De este modo los márgenes de error son predecibles: la predicción de fenómenos será *quam proxime* en la medida en que los datos se acerquen al modelo matemático. Esto es, en el caso de la Proposición II del Libro I, si el cuerpo se mueve *quam proxime* en una curva y su radio trazado a un punto describe *quam proxime* áreas proporcionales a los tiempos, la ley del inverso de los cuadrados se cumplirá *quam proxime* en ese caso. Este tipo de contrastación es la que se encuentra en los *Principia*, y no la sugerida por Cohen, pues los márgenes de error, según este último, operaban como alarmas que informaban hasta qué punto se debía modificar un constructo imaginario. No obstante, por lo dicho anteriormente, los márgenes de error y la predicción de perturbaciones no vienen dados *a posteriori* sino *a priori*.

## 2. HYPOTHESES NON FINGO

Se han mostrado ya ciertas razones por las que el «estilo de Newton» debe considerarse como una interpretación que deja por fuera rasgos importantes del proceder newtoniano. No sólo se limita el proceder de Newton a sus estudios puramente ‘científicos’ —desde nuestra perspectiva—, sino que algunas características importantes de éstos quedan por fuera. El «estilo de Newton» tampoco hace posible un tratamiento correcto del papel de las hipótesis en la filosofía natural de Newton. Miremos el asunto.

Tal vez ningún otro pasaje de los *Principia* sea tan célebre, citado y comentado como el *hypotheses non fingo* (no finjo hipótesis) del Escolio General, introducido para la edición de 1713. Durante mucho tiempo, incluso en el siglo xx, sirvió como estandarte del positivismo y, erróneamente, como evidencia textual para una interpretación exclusivamente positiva del pensamiento de Newton. Me serviré de esta expresión para matizar el problema de la metodología científica y, de este modo, reconsiderar el lugar que ocupa la causalidad ontológica de la fuerza en el itinerario de Newton.

La preparación de la segunda edición de los *Principia* está atravesada por uno de los episodios más significativos en la vida de Newton y en la historia de las matemáticas. Durante la exhaustiva revisión de las proposiciones de los *Principia* por parte de su autor y del editor —encargado por el obispo Richard Bentley— Roger Cotes, joven *fellow* del Trinity College, estalló la disputa sobre la prioridad de la invención del cálculo. Esta disputa, indirecta, enfrentó crudamente no sólo los derechos de paternidad de uno de los



inventos más significativos del siglo xvii, sino también los estilos y rasgos esenciales de la filosofía continental, en gran parte representada por Leibniz, y de la filosofía británica, visiblemente encabezada por Newton. Los principales medios de difusión de la ciencia en ese entonces —las *Philosophical Transactions* y el *Acta Eruditorum*— se convirtieron en los escenarios en que Newton y Leibniz (anónimamente) y los partidarios de cada uno (Keill, Gregory y Collins del lado de aquél y Bernoulli y Wolf del lado de éste) publicaban sus argumentos, utilizando en muchos casos expresiones que sobrepasan los insultos. La disputa se clausura con la publicación del *Commercium Epistolicum*, un compendio de cartas, publicaciones y papeles relacionados con la invención del cálculo, resultado de la denuncia hecha por Leibniz ante la Royal Society, cuyo presidente era entonces Isaac Newton. El estudio de la comisión encargada por el presidente para indagar el caso concluyó reconociendo que «[...] es el Sr. Newton el primero en inventar el método y somos de la opinión de que el Sr. Keill, al afirmar eso mismo, en modo alguno ha sido injurioso con el Sr. Leibniz» (*Commercium Epistolicum* 1722: 6–7).<sup>13</sup> En este contexto surge el Escolio General, en el que se tratan cuestiones de filosofía experimental, metodología científica y teología natural. Era una nueva oportunidad para marcar diferencias con el continente.

Como he dicho (*Vide* nota 5, *supra*), la mayor oposición que recibieron los *Principia* en el continente fue la aceptación de la fuerza como atracción, considerada por los racionalistas como una simple hipótesis. De hecho Huygens, quien mantenía relaciones cordiales con Newton, se mostrará sorprendido: «[...] como si valiera la pena hacer tantas investigaciones y cálculos difíciles, que no tienen por fundamento más que ese mismo principio [la fuerza como atracción]», principio que unas líneas antes había calificado de “absurdo” (Huygens a Leibniz, 18 de noviembre de 1690, en Huygens 1888–1950: IX, 538).

¿Cuál es la aversión de Newton por las hipótesis, si él mismo califica de hipótesis algunos apartados de los *Principia*? A partir de esta pregunta, podemos ver que la diferencia entre Newton y el racionalismo radica en dos aspectos fundamentales: la epistemología y, en consecuencia, la metodología.

Es bien conocido que para Newton mismo su metodología era radicalmente diferente de una hipotético–deductiva. El rechazo de ésta puede hallarse desde sus primeros años de estudio en el Trinity College. En su cuaderno ‘filosófico’ de la época afirma: «No estaría equivocado si pienso que un punto o cifra (que no son nada) fuera capaz de poderes y cualidades, sino porque pensé una suposición fácil para concebirla y ajustarla al propósito, aventuré sobre ella». <sup>14</sup> Desde el comienzo mismo de su carrera intelectual, Newton parece comprometido con el descubrimiento de las causas reales de los fenómenos naturales y no con la fabricación de hipótesis, característica de la aproximación cartesiana a la naturaleza. <sup>15</sup> El rasgo más sobresaliente del rechazo newtoniano de las hipótesis puede verse en la dificultad que encontraba en que gran número de hipótesis diferentes e incompatibles entre sí podían explicar el mismo fenómeno:

[S]i para explicar cada nuevo fenómeno se hace una hipótesis nueva... esta Filosofía no será más que un sistema de Hipótesis. Y qué certeza puede haber en una Filosofía que consiste en tantas Hipótesis como Fenómenos hay por explicar (University Library, Cambridge, Ms. Add. 3970.3, fol. 479<sup>r</sup>, citado en McGuire 1970, 183).<sup>16</sup>

de este tipo. Cf. Smith 2002: 144–147.

<sup>13</sup> Un estudio biográfico de este episodio se encuentra en Westfall 1996: 346–377. El estudio particular más reciente es el de Bertoloni Meli (1993).

<sup>14</sup> La traducción de este pasaje y otros se encuentra en Orozco 2004: 77. El pasaje citado data, de acuerdo con los cálculos de McGuire y Tamny, de 1664.

<sup>15</sup> Cf. René Descartes, *Le Monde. Traité de la lumière*: «Mais afin que la longueur de ce discours vous soit moins ennuyeuse, j’en veux envelopper vne partie dans l’invention d’vne Fable, au travers de la quelle j’espère que la vérité no laissera pas de paroistre suffisamment [Pero, con el fin de que la extensión de este discurso os sea menos molesta, quiero envolver una parte de él en la invención de una fábula, a través de la cual espero que la verdad no dejará de



## Sergio Hernán Orozco

aparecer suficientemente]» (AT XI, p. 31).

<sup>16</sup> Casi la misma afirmación se encuentra en una de las respuestas de Newton en la polémica de 1672/5: «For if the possibility of hypotheses is to be the test of the truth and reality of things, I see not how certainty can be obtained in any science; since numerous hypotheses may be devised, which shall seem to overcome new diffi-culties.» El pasaje es una respuesta a Pardies (New-*ton* 1978: 106).

<sup>17</sup> Una explicación muy interesante de esta afirmación se encuentra en McMullin 1978: 5–28. Para una explicación diferente véanse Castillejo 1981: 13–16 y McGuire 1995: 52–102.

<sup>18</sup> Huygens comenzó a interesarse en las leyes de Kepler antes de la publicación de los *Principia*, pero sólo después de esto pensó que eran verdaderas. La confesión de la influencia negativa se encuentra en su *Discours sur la cause de la pesanteur*, publicado en 1689 simultáneamente con su *Traité de la Lumière*. «[M]ais je n'avois point etendu l'action de la pesanteur à de si grandes distances, comme du Soleil aux Planetes, ni de la Terre à la Lune; parce que les Tourbillons de Mr. Des Cartes, qui m'avoient autre-fois paru fort vraisemblables, & que j'avois encore dans l'esprit, venoient à la traverse [Pero yo no había extendido la acción de la gravedad a tan grandes distancias, como del Sol a los Planetas, ni de la Tierra a la Luna, porque los Vórtices del Sr. Descartes, que antes me parecían muy verosímiles, y que

Este pasaje me permite resaltar algunos puntos importantes. En primer lugar vemos que la principal objeción contra las hipótesis es su estatuto de certeza: ¿Cómo puede saberse que una hipótesis es la *causa real* del fenómeno experimentado? ¿Cómo puede saberse qué hipótesis, de las que se consideran para explicar el mismo fenómeno, es la explicación *real*? Obviamente, esto implica la pregunta ¿qué mundo explica mi hipótesis: éste o sólo uno posible? Hay también aquí otra cuestión entrelazada que se relaciona con uno de los principios regulativos más importantes de la epistemología de Newton. El ataque contra las hipótesis se fundamenta en la suposición de que un sistema muy complejo estaría errado. Dicho sistema estaría en contradicción con la constante afirmación por parte de Newton de que «la naturaleza es muy simple y consonante consigo misma». Así, un sistema muy complejo —que utilice una hipótesis diferente para explicar cada fenómeno— no correspondería con la realidad.<sup>17</sup> Aunque este pasaje data de 1703, desde la década de 1670 Newton era reacio a aceptar la palabra hipótesis referida a su trabajo. En su respuesta a la segunda carta de Pardies, en el contexto de la polémica en torno a los colores de la luz, Newton afirma:

Como el Reverendo Padre llama nuestra doctrina una hipótesis, creo que eso procede de su utilización de la primera palabra que se le ocurrió, como una práctica surgida de llamar hipótesis cualquier cosa que se explica en filosofía. Y la razón de mi llamado de atención sobre la palabra es prevenir la prevalencia del término, que podría ser perjudicial para la verdadera filosofía (Newton 1978: 107).

Sugiere con esto que una afirmación equivocada, una hipótesis arbitraria, podría estar en contra de la 'verdadera filosofía', esto es, la filosofía que descubre las verdaderas causas de los fenómenos. Sobre este asunto el caso de Huygens es elocuente cuando declara que podría haber extendido la acción de la fuerza universalmente si no estuviera comprometido con la teoría cartesiana de los vórtices.<sup>18</sup> Para Newton sus afirmaciones no eran hipótesis, sino las teorías más fuertes que podían establecerse de acuerdo con su metodología (empirista). En un boceto de una carta enviada a Roger Cotes, se afirma claramente que las hipótesis están en oposición a su filosofía:

La filosofía experimental reduce los fenómenos a reglas generales y busca que las reglas se mantengan generales cuando se mantienen generalmente en los fenómenos.... La filosofía hipotética consiste en explicaciones imaginarias de las cosas y en argumentos imaginarios a favor o en contra de tales explicaciones o contra la filosofía experimental fundada en la inducción. La primera clase de filosofía la sigo yo, la segunda es seguida en gran medida por [Des]Cartes, Leibnitz y algunos otros (Newton a Cotes, marzo 28 de 1713, citada en Shapiro 2002: 3).

El rechazo de las hipótesis implica un componente más importante —y más complejo— en relación con la epistemología de Newton y la influencia del empirismo. El propósito general de las filosofías naturales, tanto newtoniana como cartesiana, era explicar los fenómenos de acuerdo con las causas verdaderas (*veræ causæ*). Para los cartesianos, la investigación 'científica' —y la explicación— debía comenzar con el establecimiento de las causas más generales de la naturaleza. Recordemos este orden del conocimiento propuesto por Descartes en la Carta-Prefacio al traductor francés de sus *Principia Philosophiæ*:

La primera parte [de la filosofía verdadera] es la Metafísica, que contiene los princi-

## Metodología ‘científica’ en la explicación de la fuerza gravitacio-

pios del conocimiento, entre los que están la explicación de los principales atributos de Dios, de la inmaterialidad de nuestras almas y de todas las nociones claras y simples que están en nosotros [esto incluiría la identificación cartesiana de materia y extensión]. La segunda parte es la Física, en la cual, *después de haber encontrado los verdaderos Principios de las cosas materiales*, se examina en general cómo se compone el universo (*AT IX-2, 10*. La cursiva es mía).

En general podemos decir que, a partir de la concepción cartesiana de la primacía epistemológica de las ideas innatas sobre la experiencia sensorial, el verdadero conocimiento de la naturaleza debe comenzar con la clarificación de las certezas que de antemano tenemos en nuestras mentes gracias a un acto de experiencia intelectual. Sólo sobre estas ideas innatas puede establecerse el conocimiento seguro. De este modo, el orden de conocimiento de las cosas naturales parte de la suposición de hipótesis, teniendo en cuenta el principio de no contradicción con respecto a nuestras ideas innatas. Como ha dicho Beck, «[...] a partir de estos primeros principios debemos descender a la explicación y demostración de las leyes particulares que gobiernan el mundo existente, esto es, al dominio físico de los particulares existentes, opuesto al mundo de los posibles» (1952: 251). Que la materia debe identificarse con la extensión y el consecuente rechazo de la diferencia entre materia y espacio, es el principio más general sobre el que se funda la física cartesiana. Dos de las más importantes consecuencias de este principio son que el vacío y los átomos se califican como imposibles y absurdos (*cf.* Descartes, *AT VIII-1, 49-51*). Así, para explicar el movimiento planetario —y todo movimiento—, Descartes debe llenar el mundo con materia sutil. Esta es la piedra angular de la teoría de los vórtices, contra la cual Newton discutiría en el Libro II de los *Principia*. Newton conocía muy bien al filósofo francés, pues durante los seis primeros meses de 1664 leyó cuidadosamente la edición de 1656 (Ámsterdam) de las Obras de Descartes. Esta edición, titulada, *Principia Philosophiæ*, realmente incluía las *Meditaciones*, los *Principios de la Filosofía*, el *Discurso del Método*, el *Tratado de las pasiones del alma* y las *Objeciones y Respuestas* a las *Meditaciones*. En suma, casi todo lo que un estudioso de Descartes del siglo XXI necesitaría como fuente primaria. Las *Quæstiones quædam Philosophicæ* —contenidas en el cuaderno filosófico de Newton durante su estadía en el Trinity College— están llenas de puntos de vista cartesianos y las citas se encuentran más bien cuestionadas que aceptadas dogmáticamente.<sup>19</sup>

La ‘lógica del descubrimiento’ de Newton se oponía a la cartesiana. En el Libro III de los *Principia*, en la regla III para filosofar, se afirma:

*Las cualidades de los cuerpos que no aumentan ni disminuyen en grado y que se encuentra que pertenecen a todos los cuerpos al alcance de nuestros experimentos deben estimarse como las cualidades universales de todos los cuerpos. Pues las cualidades de los cuerpos sólo se clarifican por experimentos (Newton 1972: 552).*<sup>20</sup>

La disputa entre cualidades universales y esenciales que crearon los continentales era una incompreensión del empirismo de Newton. De acuerdo con éste, las cualidades esenciales no podían conocerse, y en esto era enfático y radical:

No conocemos la sustancia de las cosas. No tenemos idea de ellas. Obtenemos (*colligimus*) sus propiedades solas de los fenómenos, y de las propiedades [inferimos] qué sean las sustancias (*quod sint*). Que los cuerpos no se penetran unos a otros lo obtenemos de los fenómenos solos; que las sustancias de clases diferentes no se penetran cada



aún tenía en mente, venían a oponer-se]» (Huygens 1888-1950: XXI, p. 472).

<sup>19</sup> El carácter inquisitivo de las *Quæstiones* puede verse desde el título mismo. Ha sido estudiado por Mc-



## Sergio Hernán Orozco

Guire y Tamny en su introducción a Newton (1985) y por Westfall (1962).

<sup>20</sup> «Nam qualitates corporum non nisi per experimenta innotescunt». El verbo latino *innotesco* es muy importante, pues muestra que el conocimiento sensorial es como un descubrimiento o clarificación de algo que en el comienzo es oscuro. Este punto es fundamental para la interpretación de los *Phænomena* y para rechazar una interpretación realista ingenua del empirismo de Newton.

<sup>21</sup> He modificado ligeramente la traducción de los Hall.

<sup>22</sup> La simplicidad de la naturaleza, que le permite a Newton concluir ‘mismo efecto, misma causa’, es una notable influencia del ‘mini-malismo’ de los principios de la religión anglicana (cf. Henry 1998). Una exposición detallada de la aplicación de los principios matemáticos en la construcción del sistema del mundo puede hallarse en el tercer capítulo de Cohen 1980. Para posiciones dife-

una no aparece más que por los fenómenos. Y no podríamos afirmar impulsivamente lo que no puede inferirse de los fenómenos.... No vemos más que las formas y los colores de los cuerpos, no oímos más que sonidos, no tocamos más que superficies externas, olemos olores y gustamos sabores; pero no conocemos las sustancias de las cosas por ningún sentido, por ningún acto de reflexión [¿se refiere al *cogito*?] y, por tanto, no tenemos más idea de ellas que la que un ciego tiene de los colores (Newton 1962: 360–361. Original latino: 356–357).<sup>21</sup>

Este pasaje, de un *draft* del Escolio General, es claro. Lo que aquí se afirma es una consecuencia del fuerte vínculo de Newton con el empirismo, que le impide aceptar cualquier fuente de conocimiento diferente de los sentidos. Seguramente el desacuerdo con los filósofos continentales movió a Newton a escribir un pasaje como éste. Fue acusado de tomar la gravedad como una propiedad esencial de la materia, aunque claramente estaba proponiendo una fuerza que actuaba universalmente. Eso no era una propiedad de la materia. Aunque es claro en este punto en el comentario a su regla III, los filósofos continentales decían que Newton tomaba la gravedad como una propiedad esencial de la materia o hacía de la acción de la fuerza un milagro constante, posición absurda para el racionalismo. En el marco de la disputa por la prioridad del cálculo, Newton escribe (anónimamente) una reseña del *Commercium Epistolicum*, en que no sólo se trata el asunto de la prioridad, sino que se marcan, en tono irónico, diferencias explícitas, con Leibniz —y en su nombre con el racionalismo:

Debe concederse que estos dos caballeros difieren mucho en Filosofía. El uno procede sobre la evidencia que surge de los experimentos y fenómenos y se detiene donde falta tal evidencia; el otro se equipa con hipótesis y las propone, no para que sean examinadas por experimentos, sino para que sean creídas sin examen. *El uno, por la carencia de experimentos* para decidir la cuestión [de la gravedad] no afirma si la causa es mecánica o no mecánica; el otro [afirma] que si no es mecánica es un milagro perpetuo ([Newton] 1714/15: 223–224).

Este trasfondo permite hacer una clara distinción entre las metodologías cartesiana y newtoniana. En los *Principia* de 1687, Newton pone nueve afirmaciones diferentes bajo el título ‘Hipótesis’, al comienzo del Libro III. Para la edición de 1713 cambia el lugar y las rúbricas de estas afirmaciones: algunas se transforman en las *Regulæ Philosophandi* y otras en *Phænomena*. Las reglas son principios metodológicos y regulativos establecidos para legitimar el proceso inferencial de la estructura matemática de los Libros I y II.<sup>22</sup> Los fenómenos se renombran porque no son hipótesis ‘arbitrarias’, sino afirmaciones generales establecidas por inducción. Estos fenómenos incluyen tablas de datos astronómicos sobre los cuales se fundamentan. La investigación de Newton comenzaría con la observación de regularidades —bien sea porque simplemente las encontrara, bien sea porque las buscara y se encontraran— en la naturaleza y con el establecimiento de afirmaciones generales soportadas por datos empíricos. Podemos decir que los fenómenos newtonianos son ‘hipótesis’ *backed-up* por el poder de la inducción, esto es, entre más observación, mayor certeza. Esto se ve claramente en la carta citada de Newton a Cotes. En contraste con la metodología cartesiana, Newton piensa que sus ‘hipótesis’ no son principios de razón, conjeturas plausibles o suposiciones heurísticas que le permiten ‘salvar los fenómenos’. Creyó que por medio de su metodología podría descubrir el mundo real. Cuando le preguntan por la causa de la gravedad contesta: «Es suficiente que la gravedad realmente exista y actúe de acuerdo con las leyes que



hemos descrito; que sea suficiente para explicar el movimiento de los cuerpos celestes y de nuestro mar» (Newton 1972: 764).<sup>23</sup>

Si el procedimiento de Newton fuera tal como se describe en el «estilo de Newton», la metodología científica de los *Principia* sería indiscernible de una metodología hipotético–deductiva. Si la construcción de modelos es una práctica imaginativa —limitada por las matemáticas— y los modelos se contrastan paso a paso en su formación con los datos empíricos, Newton estaría procediendo de acuerdo con un esquema típicamente racionalista. Tal como hemos visto, esta interpretación es errada.

### 3. *HYPOTHESES FINGO*: ACERCAMIENTOS A LA CAUSALIDAD ONTOLÓGICA DE LA FUERZA

Hemos esclarecido ya que la diferencia radical entre el racionalismo y el proceder newtoniano radica en concepciones epistemológicas divergentes. Esto se hace evidente en el rechazo de Newton por las hipótesis como fundamento de la explicación natural. Sin embargo, tal como veremos en esta sección, Newton no sólo creaba hipótesis ingeniosas sino que las consideraba, más que heurísticas, investigativas: su construcción está marcada por campos teóricos (metafísica y teología) y por campos experimentales (mecánica, óptica y alquimia/química).

Como he mencionado anteriormente, luego de la publicación de los *Principia*, en que se introducía la fuerza como responsable del movimiento, las críticas se centraron en la ininteligibilidad de tal noción y en la imposibilidad de explicar su acción por medio de un mecanismo (materia y movimiento). La filosofía mecánica había logrado expurgar la filosofía de las explicaciones esencialistas del aristotelismo escolástico y de las animistas–vitalistas, características de los movimientos del Renacimiento, especialmente de las concepciones paracelsianas del universo.<sup>24</sup> Para los mecanicistas, especialmente para Leibniz, la gravitación universal implicaba un retroceso al introducir un concepto cuyo mecanismo de acción era desconocido. Esto rompía claramente con los cánones establecidos de explicación racionalista imperantes en el siglo XVII.

Ante estas fuertes críticas, Newton se aventura a buscar una solución al problema. Pero no sólo las críticas continentales lo mueven a ello. El autor de los *Principia* sabía que la perspectiva matemático–experimental no constituía *toda* la explicación de la fuerza. Si bien era consciente de las dificultades que implicaba buscar la completud en su sistema del mundo, no renunció a ello (*Vide* epígrafe, *supra*).

Los intentos de explicación de la causalidad ontológica de la fuerza pueden dividirse en tres grandes hipótesis: 1. La hipótesis de la acción directa de Dios —directamente relacionada con el vacío— (1690–1704), 2. La hipótesis del espíritu eléctrico (1710–1716) y 3. La hipótesis de un medio etéreo activo. Estas hipótesis tienen raíces en la reestructuración ontológica que Newton llevó a cabo en su juventud, desde 1664 hasta 1680, en que el estudio del mecanicismo continental (Descartes), el mecanicismo británico (Boyle y More), la alquimia (Van Helmont, Sendivogio), la teología voluntarista, la interpretación bíblica (especialmente del Apocalipsis) y la historia de la Iglesia, confluyen en un rechazo a la explicación del mundo natural en términos de materia–movimiento. Sería imposible detenerme a considerar cada una de las hipótesis, pues esto implicaría

rentes véanse Smith 2002; Harper 2002; White-side 1991; Westfall 1980: 402–468; Guicciardini 1998.

<sup>23</sup> Los términos ontológicos y epistemológicos implicados son importantes: «Et satis est quod gravitas *revera existat*, & agat *secundum leges* a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes *sufficiat*.» Al declarar que la gravedad existe realmente Newton rehúsa el convencionalismo y el instrumentalismo.

<sup>24</sup> Los estudios sobre ambos movimientos son inmensos. En el campo de la filosofía mecanicista y su desprendimiento del Renacimiento véase Boas 1952; Gabbey 2002; Kubrin 1967. Sobre los movimientos paracelsianos del siglo XVI y



## Sergio Hernán Orozco

rastrear evidencia textual publicada con extensos y complejos manuscritos y, además, una incursión explicativa en la multiplicidad de campos de estudio de Newton, labor que excede por mucho las pretensiones de este texto. No obstante, quiero rescatar algunas características esenciales de estas hipótesis.

El rechazo de Newton por las hipótesis, tal como puede verse en el pasaje citado de su *Recensio Libri* (cf. sección 2, *supra*), es un rechazo moderado. Lo que molesta profundamente a Newton es la postulación de hipótesis sin control empírico, esto es, sin acudir a la naturaleza por medio de la experiencia para ver si tal hipótesis explica nuestro mundo, si realmente desentraña sus secretos, y no sólo es una hipótesis *ad hoc*. Las hipótesis sobre la causalidad ontológica de la fuerza son hipótesis que surgen de diversos campos pero que, en el esquema de investigación newtoniano, deben ser examinadas por experimentos para poder establecerse como «Principios de la Filosofía» y no como un sistema de conjeturas que conlleva poca o nula certeza (cf. sección 2, *supra*). Prueba concluyente de que así consideraba estas hipótesis es que, si bien trabajaba arduamente sobre ellas en privado, en sus textos publicados sigue manteniéndose en reserva y ni siquiera sus más cercanos amigos conocían tales conjeturas.

Podría objetárseme que hay textos publicados en que Newton explícitamente favorece alguna hipótesis sobre la causa de la gravedad. Estos pasajes, hasta donde alcanza mi estudio, son sólo las *Questiones* de la *Optice* latina de 1706, que reaparecen formulados en la edición inglesa de 1717/18. Hay, además, una breve alusión en el pasaje final del Escolio General. Para aclarar esto me remito a algunos pasajes que hablan por sí mismos. En el *Advertisement II* de la *Opticks* de 1717 dice: «Y para mostrar que no tomo la gravedad como una propiedad esencial de los cuerpos he añadido una *Cuestión* con respecto a su causa, escogiendo proponerla a modo de *Cuestión*, porque aún no estoy satisfecho sobre ella por carecer de experimentos» (Newton 1717: vi). El pasaje del Escolio General alude a cierto espíritu sutilísimo, que atraviesa los cuerpos, y es responsable de los fenómenos eléctricos y del movimiento de los animales. Sin embargo, esta pequeña conjetura es inmediatamente controlada por Newton: «Pero esto no puede exponerse en pocas palabras; y tampoco está disponible un número suficiente de experimentos mediante los cuales deben determinarse y mostrarse exactamente las leyes de las acciones de este espíritu» (Newton 1972: 765). Sin embargo, ambas conjeturas están sustentadas por estudios privados exhaustivos.

Los experimentos propuestos en la *Cuestión* de la *Óptica* se derivan de casi 40 años de investigaciones en alquimia, química y teoría de la materia (cf. Dobbs 1975, 1991). Humprey Newton (sin relación), el amanuense de Newton, recoge en una de las cartas que envía a John Conduitt, quien intentó ser el primer biógrafo del autor de los *Principia*, el cuidado que éste ponía en sus experimentos:

El fuego escasamente se extinguía de día o de noche. Pasaba en vigilia una noche y yo hacía lo mismo otra hasta que terminaba sus experimentos químicos, en la preparación de los cuales era el más preciso, estricto y exacto. Cuál podría ser su objetivo, no era yo capaz de conocerlo, pero su molestia, su diligencia en estos asuntos me hizo pensar que buscaba algo más allá del alcance del arte y la industria humanas (Humprey Newton a John Conduitt, 17 de enero de 1727/28, Keynes Ms. 135, folios 2–3).

Otra referencia manuscrita nos indica la preparación y el intenso estudio de estas hipótesis. Interfoliado con un *draft* del Escolio General, casi idéntico al publicado, se



encuentra una serie de proposiciones y experimentos, referidos a las fuerzas de corto rango (las mencionadas en el Escolio General). Estas proposiciones parecen ser el plan de otros *Principia*: unos en los que se expliquen las fuerzas interparticulares. El plan no es sólo un boceto: es una especie de estructura axiomática con pruebas, experimentos y escolios: «Proposición 1. Que las partículas muy pequeñas de los cuerpos, si están contiguas o a distancias muy pequeñas, se atraen una a otra. Experimentos: 1. El de piezas paralelas de vidrio. 2. El de piezas [inclinadas de vidrio]. 3. El de tubos. 4. El de esponjas. 5. El de aceite de naranjas» (Newton 1962: 357)

Las hipótesis de la causalidad ontológica de la fuerza son intentos de solución de un problema que deben someterse al examen de la experiencia. Pero el fracaso en la solución del problema no sólo está en que Newton busca evidencia en campos poco desarrollados para entonces: la óptica y la alquimia; también radica en que su ideal de matematización de la ciencia se ve acosado por los escasos desarrollos en las técnicas matemáticas para responder a la matematización de campos como la alquimia/química y la óptica. Sólo con Dalton, casi un siglo después, el estudio de la química, gracias a los increíbles desarrollos de las matemáticas en el siglo XVIII, logrará matematizarse. Tampoco debemos olvidar que la construcción de los *Principia* requirió del desarrollo de técnicas matemáticas. El «método de razones primeras y últimas», un método semejante al cálculo expuesto en términos geométricos y que se encuentra en la Sección I del Libro I, fue un desarrollo que Newton tuvo que hacer para lograr matematizar el movimiento de los cuerpos celestes desde la perspectiva de una fuerza gravitacional. Y aunque no por estas dificultades dejó Newton de incursionar en los posibles campos que le dieran completud a su sistema del mundo, es de resaltar que no obtuvo los resultados esperados.

#### 4. A MODO DE CONCLUSIÓN

Según Cohen, la tercera fase del «estilo de Newton» implica una secuela «[...] que puede conllevar incluso la construcción de mecanismos explicativos o modelos cuasi-físicos que den cuenta o expliquen la atracción gravitatoria» (Cohen 1980: 132). Desde su perspectiva, las tres fases logran reunir los propósitos y fines de la ciencia newtoniana, dejando las consideraciones metafísicas y teológicas en un nivel de explicación extra-científico. Nada más alejado de la concepción que Newton tenía de la práctica científica. En un *draft* de la *Cuestión 31* de la *Opticks* de 1717 puede verse esta insuficiencia de la interpretación de Cohen:

Las hipótesis no deben considerarse en la Filosofía Experimental. Ni tampoco hemos de considerar Principios Metafísicos, a no ser en tanto estén fundados sobre la experiencia. Pues toda Metafísica no fundada sobre la experiencia es Hipotética: Y en tanto las Proposiciones Metafísicas están fundadas sobre la experiencia hacen parte de la Filosofía experimental. Incluso la célebre Proposición *Ego cogito ergo sum* nos es conocida por la experiencia. Sabemos que pensamos por una sensación interna de nuestros pensamientos. Y, por tanto, a partir de esa proposición no podemos concluir que algo es más cierto que lo que deducimos de la experiencia. E, incluso, al probar una Deidad, todos los argumentos no tomados de los Fenómenos son poco mejores que sueños (University Library, Cambridge, Ms. Add. 3970, fol. 62r, citado en Shapiro 2002: 17).



## Sergio Hernán Orozco

Tal vez ningún otro pasaje de puño y letra de Newton esté más en contra de una interpretación positivista de su pensamiento. La distinción entre ‘ciencia’ (filosofía experimental) y ‘metafísica’ (filosofía hipotética) no es una distinción a partir del objeto de estudio, sino del modo en que se afronte tal investigación. Vemos, pues, que incluso la metafísica y la teología, fundadas sobre experimentos, harían parte de la filosofía experimental.

No queda más que concluir que el estudio de la causalidad ontológica de la fuerza se nos presenta como una hipótesis metafísica (que Cohen presenta como ‘secuela’) por una diferencia de perspectiva. No obstante, esto es una ilusión. El modo en que la investigación comenzó a desarrollarse no logró superar el punto de “hipótesis para ser examinada por experimentos”. Si Newton hubiera logrado desarrollar técnicas matemáticas apropiadas y hubiera encontrado experimentos suficientes, de acuerdo con sus exigentes criterios, la conceptualización del agente responsable de la fuerza gravitatoria se nos presentaría en los términos de certeza y verdad en que se nos presentó la fuerza de gravitación en los *Principia*. Sobra resaltar la importancia de éstos en el desarrollo de la física clásica y en el surgimiento de la mecánica cuántica y de la teoría de la relatividad. Para Newton, la indagación por la causa de la fuerza era tan ‘científica’ como la pregunta por la causa del movimiento celeste, por el movimiento del mar, por la existencia y acción de Dios o por la corrupción de la fe primordial debida a los paganos. Incluso sus estudios más esotéricos a nuestros ojos, como la interpretación del Apocalipsis, el estudio de la historia de la Iglesia, o el estudio de la segunda venida de Cristo, están fundados sobre la experiencia: sobre la evidencia textual, sobre cálculos astronómicos para determinar la antigüedad del mundo o de las generaciones (*cf.* Mamiani 2002).

Lo importante del estudio del problema de la causalidad ontológica de la fuerza es que en él confluyen los diferentes campos que Newton estudió, y el problema, más que una hipótesis científica, pone al límite las concepciones científicas, metodológicas, teológicas, metafísicas y ontológicas que se relacionan con (¿o subyacen a?) la ciencia y así nos hace reflexionar sobre la historicidad del pensamiento científico. Para decirlo con Feyerabend:

Una mirada a la historia muestra que este mundo no es un mundo estático poblado por hormigas pensantes (y publicantes) que, arrastrándose sobre sus grietas, descubren gradualmente sus rasgos sin afectar a éstos en modo alguno. Es un ser dinámico y multifacético que refleja e influye en la actividad de sus exploradores. Una vez estuvo lleno de dioses; luego se convirtió en un monótono mundo material; y puede volver a cambiar si sus habitantes tienen la determinación, la inteligencia y el corazón para dar los pasos necesarios (Feyerabend 2001: 176).

### BIBLIOGRAFÍA

BECK, L. W.

(1952) *The Method of Descartes. A study of the Regulæ*. Oxford: Clarendon Press.

BOAS (Hall), Marie.

(1952) «The Establishment of the Mechanical Philosophy», En: *Osiris* 10, 412–541

## Metodología 'científica' en la explicación de la fuerza gravitacio-



[revisión de la tesis doctoral titulada *Robert Boyle and the Corpuscular Philosophy: A study of Theories of Matter in the Seventeenth Century* (Cornell 1949)].

BERTOLONI MELI, Domenico.

(1993) *Equivalence and Priority: Newton versus Leibniz*. Oxford: Clarendon.

CASTILLEJO, David.

(1981) *The Expanding Force in Newton's Cosmos*. Madrid: Ediciones Arte y Bibliofilia.

COHEN, I. Bernard.

(1980 [1983]) *La Revolución Newtoniana y la Transformación de las Ideas Científicas* (trad. C. Solís Santos). Madrid: Alianza.

COHEN, I. Bernard & SMITH, George. (eds.)

(2002) *Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.

COLLINS, John.

(1712 [1856]) *Commercium Epistolicum J. Collins et Aliorum de Analysi Promota*. Paris: Mallet Bachelier.

DEBUS, Allen.

(2002) *The Chemical Philosophy. Paracelsian Science and Medicine in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*. New York: Dover.

DESCARTES, René.

[AT] (1973–1978) *Œuvres de Descartes*. (ed. C. Adam & P. Tannery). 12 vols. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin & Centre National de la Recherche Scientifique.

DOBBS, Betty Jo Teeter.

(1975) *The Foundations of Newton's Alchemy or 'The Hunting of the Green Lyon'*. Cambridge: Cambridge University Press.

(1991) *The Janus Faces of Genius, The Role Alchemy in Newton's Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.

FEYERABEND, Paul.



## Sergio Hernán Orozco

(2001) *La conquista de la Abundancia. La abstracción frente a la riqueza del ser*. (ed. Bert Terpstra). Barcelona: Paidós.

GABBEY, Alan.

(2002) «Newton, active powers, and the mechanical philosophy». En: Cohen & Smith 2002, 329–357.

GUICCIARDINI, Niccolò.

(1998) «Il dibattito sui metodi matematici per la filosofia naturale di Isaac Newton dal 1687 al 1736». En: *Atti del XVIII Congresso di storia della fisica e dell'astronomia*. Bologna: BT, 1–8.

HARPER, William.

(2002) «Newton's argument for universal gravitation». En: Cohen & Smith 2002, 174–201.

HERIVEL, John.

(1965) *The Background to Newton's 'Principia'. A study of Newton's dynamical researches in the years 1664–1684*. Oxford: Clarendon Press.

HENRY, John.

(1998) «Nature, the Church and the State (National Styles in Science: Experimental Philosophy in Seventeenth-Century France and England)». En: *Les Cahiers de Science et Vie* 45, 80–86.

HUYGENS, Christiaan.

(1888–1950) *Œuvres Complètes*. 22 vols. La Haye: Martinus Nijhoff & Société Hollandaise des Sciences.

KOYRÉ, Alexandre.

(1968) «Les Regulæ Philosophandi». En: *Études newtoniennes*. Paris: Gallimard, 317–329.

KUBRIN, David.

(1967) «Newton and the Cyclical Cosmos: Providence and the Mechanical Philosophy». En: *Journal of the History of Ideas* 28 (3), 325–346.

MAMIANI, Maurizio.

(2002) «Newton on prophecy and the Apocalypse». En: Cohen & Smith 2002, **saga**



McGUIRE, James E.

(1970) «Newton's 'Principles of Philosophy': an intended Preface for the 1704 *Opticks* and a related draft fragment». En: *The British Journal for the History of Science* 5 (18), 178-186.

(1995) *Tradition and Innovation. Newton's Metaphysics of Nature*. Dordrecht: Kluwer.

McMULLIN, Ernan.

(1978) *Newton on Matter and Activity*. Notre Dame (Indiana): University of Notre Dame Press.

NEWTON, Isaac.

(1706) *Optice: sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus Lucis*. Londini: Impensis Sam. Smith & Benj. Walford, Regiae Societatis Typograph. Ad Insignia Principis in Coemetrio D. Pauli.

(1714/5) «An Account of the Book Entituled *Commercium epistolicum Collinii & aliorum, de analysi promota*; Published by order of the Royal Society, in Relation to the Dispute between Mr. Leibnitz and Dr. Keill, about the Right of Invention of the Method of Fluxions, by Some Call'd the Differential Method». En: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 29, 173-224.

(1717) *Opticks: or a Treatise of reflexions, refractions, inflexions and colours of Light*. The second edition with additions. London: Printed by W. Bowyer for W. Innys at the Prince's Arms in St. Paul's Church-Yard.

(1962) *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library Cambridge* (ed. A. Rupert Hall & M. Boas Hall). Cambridge: Cambridge University Press.

NEWTON, Isaac.

(1972) *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. The third edition (1726) with variant readings*. 2 Vols. (ed. A. Koyré & I. B. Cohen & A. Whitman). Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

(1978) *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and related documents* (ed. I. Bernard Cohen & Robert E. Schofield). Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

(1985) *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook* (ed. J. E. McGuire & M. Tamny). Cambridge: Cambridge University Press.

OROZCO E., Sergio H.

(2004) «Algunos pasajes de las *Quæstiones quædam philosophicæ* de Isaac Newton». En: *Versiones* 3, 65-83.



## Sergio Hernán Orozco

SHAPIRO, Alan.

(2002) «Newton's 'Experimental Philosophy'». Disponible en la World Wide Web:  
<[http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000534/00/Experimental\\_Philosophy.pdf](http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000534/00/Experimental_Philosophy.pdf)>  
[Conferencia pronunciada en la Universidad de Pittsburgh el 19 de enero de 2002 en el ciclo «History Unveiled Science Unfettered».]

SMITH, George E.

(2002) «The Methodology of the *Principia*». En: Cohen & Smith 2002, 138–173.

TUCHANSKA, Barbara.

(2004) «Clío se encuentra con Minerva: las interrelaciones entre historia y filosofía de la ciencia» (trad. S. H. Orozco). En: *Versiones* 2, 65–79.

WESTFALL, Richard S.

(1962) «The Foundations of Newton's Philosophy of Nature». En: *The British Journal for the History of Science* 1 (2), 171–182.

(1980) *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.

(1996) *Isaac Newton: una vida*. Cambridge: Cambridge University Press.

WHITESIDE, Derek T.

(1991) «The Prehistory of the *Principia* from 1664–1686» En: *Notes and Records of the Royal Society of London* 45, 11–61.

*Recibido el 30 de mayo de 2005*

*Aceptado el 19 de septiembre de 2005*