

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA FUERZA EN LOS *PRINCIPIA* DE NEWTON

Sebastián Molina Betancur

Universidad de Antioquia, Colombia

Resumen

Ante las insistentes críticas del mecanicismo continental que caracterizaban la fuerza gravitacional como una “cualidad oculta” Newton redactó en el “Escolio general” una breve respuesta en la que se afirmaba que la fuerza era real y era suficiente la explicación que había dado de ella en los Principia para sostenerla como tal. Al respecto dos interpretaciones han pretendido explicar cuáles son los aspectos metodológicos y matemáticos de esta respuesta de Newton. En el artículo se muestra que la lectura más reciente permite comprender algunas de las limitaciones de la interpretación clásica, al acentuar el carácter metodológico de la demostración, resaltando la relación entre matemáticas y filosofía natural planteada en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los Principia de Newton.

Palabras clave: *Cualidad oculta; filosofía natural; análisis y síntesis; cualidad manifiesta; fuerza gravitacional.*

Recibido: octubre de 2013 - Aprobado: febrero 25 de 2014

Praxis Filosófica Nueva serie, No. 39, julio-diciembre 2014: 67 - 92

ISSN (I): 0120-4688 / ISSN (D): 2389-9387

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE DEMONSTRATION OF THE FORCE IN NEWTON'S *PRINCIPIA*

Abstract

Before the continental mechanical philosophy's critics, which characterized the gravitational force as an "occult quality" Newton wrote at the "General Scholium" a short answer in which he said that force is real and it was enough the explication given in the Principia to hold like that. About that two interpretations have pretended to explain what are the methodological and mathematical aspects of Newton's answer. In this article it's shown that the most recent reading of this problem allows us to understand some of the limitations of the classical interpretation, when it emphasizes the methodological aspect of the demonstration, highlighting the relation between mathematics and natural philosophy proposed in the "Preface to the reader" of the first edition of Newton's Principia.

Keywords: *Occult quality; natural philosophy; analysis and synthesis; manifest quality; gravitational force.*

Sebastián Molina Betancurt. Filósofo y Magister en Filosofía de la Universidad de Antioquia. Miembro del grupo de investigación "Conocimiento, Filosofía, Ciencia, Historia y Sociedad" de esta misma Universidad, en la que también se desempeña como Profesor en el Instituto de Filosofía.

Dirección electrónica: sebastian.molina@udea.edu.co

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA FUERZA EN LOS *PRINCIPIA* DE NEWTON

Sebastián Molina Betancur

Universidad de Antioquia, Colombia

Uno de los aspectos más debatidos de la primera edición de los *Principia*, entre los contemporáneos de Newton, es la ausencia de explicaciones causales a la fuerza. En su *magnum opus* Newton desarrolla una explicación matemática del movimiento que se sigue si sobre un cuerpo se ejerce algún tipo de fuerza. En este sentido, Newton introduce la fuerza como un principio activo de la naturaleza que le permite explicar los fenómenos observables en ella. Sin embargo, la explicación que da Newton de la fuerza en los *Principia* se da en términos estrictamente matemáticos, lo que le permite a Newton determinar cuantitativamente las condiciones en que la fuerza se presenta de la naturaleza, pero lo aleja de explicar la naturaleza física de la misma; y en particular, las cuestiones relativas al mecanismo de acción físico de la fuerza y a su causa. Esto produjo un amplio número de críticas en el contexto del mecanicismo continental del siglo XVII, que veía en los *Principia* de Newton la reintroducción de las “cualidades ocultas” escolásticas como un modo de explicación válido en la filosofía natural. En efecto, la década de 1690 representó para Newton y los newtonianos un activo periodo de discusiones filosóficas en las cuales se buscaba defender la realidad de la fuerza como causa de algunos fenómenos del movimiento. Para defender la existencia de un principio como la fuerza gravitacional, aun cuando se desconocía su naturaleza física, Newton debía justificar cómo era posible que una explicación matemática diera cuenta de la realidad de tal forma que en las proposiciones de los *Principia* se reflejen los rasgos constitutivos

de una fuerza que actúa como causa de los fenómenos en la naturaleza. En otras palabras, Newton debía responder cómo podía justificarse la existencia efectiva de una fuerza en la naturaleza cuya explicación se había dado en términos matemáticos. Ante las insistentes críticas por parte del mecanicismo continental, Roger Cotes, editor de la edición de 1713 de los *Principia*, instó a Newton a incluir en el “Escolio general”, agregado a esta edición, una respuesta que permitiera comprender el aparente vacío existente entre la explicación matemática y una fuerza real que opera en la naturaleza como causa de los fenómenos observados. Para responder a ello, Newton ofrece una caracterización de su metodología de investigación de la naturaleza fundamentada en la “deducción” de las proposiciones matemáticas a partir de la observación de los fenómenos. Asimismo, reconoce que su investigación acerca de la fuerza no ofrece respuestas al problema de la causa de la gravedad¹: “Hasta aquí he expuesto los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de gravedad, pero todavía no he asignado causa a la gravedad (...) no he podido todavía deducir a partir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis” (Newton, 1987, p. 785). Sin embargo, a renglón seguido, Newton afirma que en su filosofía experimental las proposiciones han sido deducidas desde los fenómenos y se han hecho generales por inducción. Esto implicará, según Newton, que las proposiciones matemáticas de los *Principia* son suficientes para determinar la realidad de la fuerza que implican, pues en tanto deducidas desde los fenómenos, aun cuando son estrictamente matemáticas, deben tratar acerca de una fuerza que actúa en la naturaleza y que, por lo tanto, no tiene una existencia estrictamente teórica sino también una real. Así, según Newton, las proposiciones matemáticas que se deducen desde los fenómenos describen el comportamiento de la naturaleza, de tal suerte, que una entidad como la fuerza que es cuantitativamente definible debe existir en la naturaleza, aun cuando no tengamos registros observacionales o experimentales de ella.

Lo que es significativo en este contexto es la afirmación de Newton de la suficiencia de la explicación que se da del movimiento de los cuerpos en los *Principia* para sostener la realidad de la fuerza como causa de los fenómenos. Para Newton, como lo afirma en el “Escolio general”, “es bastante que la gravedad exista realmente, y actúe con arreglo a las leyes que hemos expuesto, sirviendo para explicar todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar” (1987, p. 621)². En respuesta a las críticas del mecanicismo continental, Newton afirma que la realidad de la fuerza

¹ Cf. Newton 1987, p. 785.

² Las cursivas son mías.

se sigue de los principios matemáticos que ha establecido en los *Principia*, pues a través de ellos es posible explicar los fenómenos conocidos por medio de la observación y la experimentación, y establecer las causas de los fenómenos que quedan por explicar. Pero, ¿cómo puede sostener Newton que la fuerza existe realmente en la naturaleza y que la demostración de tal existencia se da de manera suficiente en los *Principia* en donde desarrolla una explicación matemática del movimiento de los cuerpos? En otras palabras, ¿cómo demuestra Newton en los *Principia* que la fuerza realmente existe y que los principios matemáticos establecidos son suficientes para determinar su existencia?

Algunos especialistas en Newton como I. Bernard Cohen, Alexandre Koyré y, más recientemente, Andrew Janiak, han señalado que la respuesta que ofrece Newton articula su filosofía natural con sus matemáticas, pues dicha articulación posibilita que la postulación de principios matemáticos pueda justificar la existencia de entidades no observacionales —como la fuerza— en la naturaleza. De acuerdo con estos especialistas, esto es posible gracias al desarrollo de Newton de una metodología de investigación particular, que se caracteriza en diversos lugares de los *Principia* y que se fundamenta en el desarrollo de una matematización de la naturaleza. Esta metodología se fundamenta, como el propio Newton lo explica en el “Escolio general”, en la deducción de las proposiciones matemáticas desde los fenómenos y en el establecimiento de estas como principios matemáticos generales, a través de la inducción. Para estos especialistas, el carácter matemático de las proposiciones es fundamental para comprender de qué manera Newton entiende cómo se puede justificar la existencia de una fuerza gravitacional a partir de lo dicho sobre ella en los *Principia*. En efecto, el lenguaje matemático empleado por Newton da cuenta de unas condiciones cuantificables que, al contrastarse de algún modo con las observaciones y los experimentos, describen condiciones reales, posibilitando la afirmación de la existencia de un tipo de fuerza como causa de los fenómenos. En otras palabras, el lenguaje matemático empleado por Newton en los *Principia*, según estos intérpretes, está mediado por una articulación entre las matemáticas y la filosofía natural, en la que las entidades matemáticas tienen un correlato en la naturaleza y esto puede determinarse a partir de la consistencia entre las predicciones y retrodicciones con la observación de los fenómenos. En este sentido, como se verá en el presente artículo, para estos especialistas el punto de enfoque de Newton en los *Principia* es el carácter matemático de las demostraciones, más que el aspecto filosófico natural que estas entrañan.

Sin embargo, a partir de la lectura del “Prefacio al lector” realizada por especialistas como Guicciardini, Guerlac, Garrison o Domski, es posible encontrar algunas insuficiencias y limitaciones explicativas en la interpretación de Cohen, Koyré y Janiak. Para aquellos especialistas, la realidad de la fuerza es determinable a partir de las proposiciones matemáticas desarrolladas en los *Principia*, gracias a la relación fundacional de la geometría y la mecánica que Newton esboza en el “Prefacio”. Así, para esta última línea interpretativa, para comprender de una forma más amplia las explicaciones que ofrece Newton para sostener la realidad de la fuerza, deben considerarse los aspectos metodológicos de la demostración, que se caracterizan en distintos lugares de la obra de Newton. Esto supone una distinción entre una interpretación clásica, representada por Cohen, Koyré y Janiak, y una interpretación más reciente, que comienza con Guerlac y que actualmente se ve con fuerza en los estudios de Guicciardini. El propósito de este artículo es señalar los aspectos metodológicos de la demostración de la fuerza en los *Principia*, mostrando, a su vez, las insuficiencias y limitaciones de la interpretación clásica al respecto. Comenzaré señalando algunos aspectos generales de la interpretación clásica, para luego resaltar los aspectos metodológicos de la demostración y las insuficiencias que se presentan para comprender la demostración, si se enfoca, exclusivamente, desde su aspecto matemático.

La interpretación clásica

Con el fin de responder a las críticas del mecanicismo continental, Newton afirma que la explicación que se da del movimiento en los *Principia* es suficiente para determinar la realidad de los principios que allí se sostienen. No obstante, al considerar la naturaleza matemática de la explicación del movimiento en el *magnum opus*, algunos especialistas como Cohen, Koyré y Janiak han pretendido mostrar que dicha respuesta debe entenderse en los términos de la relación que Newton parece plantear entre matemáticas y filosofía natural en los *Principia*. Los principios matemáticos se postulan como causas de fenómenos físicos reales, como el movimiento de los cuerpos celestes o las mareas, de tal suerte que en los *Principia* deben encontrarse herramientas argumentativas que permitan comprender de qué forma se relacionan estos con el mundo. Uno de los aspectos claves, para estos especialistas, es el acentuado carácter matemático del lenguaje empleado por Newton en las demostraciones de las proposiciones. Como resalta Koyré, en los *Principia*, “las fuerzas centrípetas, o las fuerzas por las que los cuerpos se aproximan unos a otros, están desprovistas de significado físico y se deben

tomar solo como términos matemáticos que pueden ser sustituidos unos por otros” (1965, p. 325). Esto se evidencia en algunos pasajes de los *Principia* en los que Newton hace referencia explícita al lenguaje matemático de la obra, como en la Sección XI del Libro I de los *Principia*, cuando Newton dice:

paso ahora a exponer el movimiento de cuerpos que se atraen mutuamente, considerando a las fuerzas centrípetas como atracciones, aunque quizá, si hablásemos en términos físicos, se denominarían más propiamente impulsos. Pero ahora nos movemos en matemáticas y, por tanto, dejando de lado disputas físicas, hacemos uso de un lenguaje común en el cual podemos ser comprendidos más fácilmente y leído por lectores matemáticos (1987, p. 328).

Por esta razón, según Koyré, “ambos términos [atracción e impulso] se deben entender en un sentido estrictamente matemático, es decir, como si estuvieran desprovistos de cualquier referencia al *modus produccendi* de los efectos atribuidos a ellos, o como si fueran neutrales con respecto a cualquier *modus* tal” (1965, pp. 326-327). En este sentido, Newton puede pasar por alto las indagaciones acerca de la naturaleza física de la fuerza, pues en los *Principia* se trata con una “fuerza matemática”, que se estudia desde un enfoque estrictamente matemático, gracias a que es una consecuencia del estudio matemático del movimiento de los cuerpos. En otras palabras, el carácter matemático de la fuerza era conocido a partir del enfoque matemático con el que Newton pretende explicar la naturaleza, heredado del ideal de la nueva ciencia que pretendía modificar las explicaciones formales y ocultas de los fenómenos, en virtud de la reducción de estos a leyes matemáticas.

El problema que se presenta a Newton es, entonces, cómo puede demostrar que la fuerza que es una consecuencia matemática de la explicación del movimiento en los *Principia* es, en efecto, una fuerza real. De acuerdo con Koyré, el paso siguiente para Newton era resaltar lo obvio, pues en tanto que la fuerza matemática se da a partir del tratamiento con puntos y no con cuerpos, difícilmente puede sostenerse que existan puntos matemáticos que se atraigan o que, por algún impulso, se junten. En palabras de Koyré:

¿No es obvio que, si los cuerpos que así se comportan [como atrayéndose mutuamente] lo harían así porque la fuerza que actúa sobre ellos, y que muy bien podríamos llamar ‘matemática’, es el resultado de fuerzas de ningún modo ‘matemáticas’ que atribuimos a las innumerables partículas del cuerpo central esférico, o de los mismos cuerpos en revolución? (1965, p. 329).

Después de todo, cómo podrían atraer puntos matemáticos a otros puntos matemáticos, o crear centros de revolución a partir de una atracción mutua entre ellos. Estos atributos, que eran explicados a partir de la postulación de entidades matemáticas, en últimas, debían referirse a cuerpos físicos que están constituidos no por puntos matemáticos, sino por partículas materiales que se atraen mutuamente. Y esta referencia es posible, según Koyré, porque las explicaciones matemáticas de Newton en los *Principia* pretenden dar cuenta del comportamiento de los cuerpos en la naturaleza, a partir de la postulación de una ontología de las entidades matemáticas que da cuenta de los fenómenos naturales. De esta manera, el paso de la matemática a la física en los *Principia*, de acuerdo con Koyré, se daría en una traducción de las propiedades de la “fuerza matemática”, que han sido descubiertas a través del estudio matemático del movimiento y son caracterizadas con un lenguaje matemático, a proposiciones que explican el movimiento de los objetos observables en la naturaleza en un lenguaje físico. Esto se hace en las relaciones que Newton plantea entre el “Sistema del mundo” del Libro III y algunas proposiciones de los Libros I y II.

De manera semejante, el “estilo de Newton”, modelo interpretativo con el que Cohen pretende dar cuenta de la metodología de investigación de Newton, se fundamenta en la idea de una traductibilidad de las entidades teóricas matemáticas del sistema idealizado de la naturaleza a términos físicos reales. Para Cohen, la explicación de la naturaleza de Newton comienza con el planteamiento de un constructo matemático mental: un modelo matemático de una naturaleza simplificada. En este constructo, Newton trata con entidades matemáticas simples, que no tienen referencia física alguna, lo que lo exime de cualquier explicación física de la fuerza. En otras palabras, la explicación de la naturaleza de Newton comienza con el planteamiento de un constructo matemático mental: un modelo matemático de una naturaleza simplificada. En este constructo, Newton trata con entidades matemáticas simples, que no tienen referencia física alguna, lo que lo exime de cualquier explicación física de la fuerza. Así, según Cohen, una vez Newton idea las condiciones más simples posibles –un sistema de dos cuerpos que se atraen en el vacío por una única fuerza– lo va haciendo progresivamente complejo, hasta llegar al punto de replicar las condiciones observables en la naturaleza. De esta manera, en los dos primeros libros del *magnum opus* “Newton es completamente consciente que lo que ha estado explorando de este modo no es la naturaleza sino las matemáticas, las matemáticas del sistema que él ha imaginado o ideado” (Cohen, 1982, p. 49). Para explicar esto con mayor precisión, Cohen afirma que el “estilo

de Newton” se compone de tres fases, que identifica con cada uno de los libros que componen los *Principia*³.

La primera fase del “estilo de Newton” consiste en “desarrollar las consecuencias matemáticas del constructo mental, derivado en primera instancia de una simplificación de las condiciones naturales, seguido por una matematización” (Cohen, 1982, p. 50). Esta fase consiste en desarrollar las consecuencias matemáticas de la relación existente entre dos cuerpos a través de la fuerza que uno ejerce sobre el otro; es decir, en esta fase, según Cohen, Newton estudia qué movimientos se siguen si, supuestos dos cuerpos, uno de ellos ejerce una fuerza sobre el otro. Como consecuencia del tratamiento matemático del movimiento del cuerpo bajo las condiciones ideales que el modelo del mundo plantea, Newton puede concluir en este libro que debe haber una fuerza centrípeta que produce los movimientos estudiados matemáticamente. En tanto que el estudio es matemático, la fuerza se dota entonces con este mismo atributo: es una fuerza matemática. Esto implica que en este punto de los *Principia* la fuerza aún no es real, pero logra explicar las condiciones en que se dan los movimientos de las entidades matemáticas en un modelo simple de la naturaleza.

La fase dos del “estilo de Newton” consiste en una traducción de los elementos propios de la fase uno a términos físicos reales. En tanto que Newton está “en últimas interesado en la naturaleza física, en el mundo externo cuyas propiedades nos son reveladas por experimentos y observaciones” (Cohen, 1982, p. 50), entonces es necesario que deba pasar de entidades estrictamente matemáticas a entidades físicas. No se trata ya de cuerpos ideales entendidos como simples puntos matemáticos, sino de cuerpos reales constituidos por partículas materiales. Para Cohen, este paso de Newton de entidades matemáticas a cuerpos supone una modificación al constructo mental simplificado y una respectiva reelaboración de las proposiciones matemáticas con las que se había explicado. Así aquél afirma:

Esto introduce una modificación del constructo mental original; la fase dos ha producido una nueva o revisada fase uno, en la que Newton una vez más aplica sus técnicas matemáticas a un conjunto de resultados en un nivel más alto de complejidad que los originales. De nuevo, estos son comparados con los fenómenos, o con las normas o leyes derivadas de los fenómenos, en otra fase dos (1982, p. 50).

³El “estilo de Newton” se encuentra desarrollado en detalle en Cohen (1983). Síntesis de los puntos principales de éste, realizadas por el propio Cohen pueden encontrarse en Cohen (1987); Cohen (1982, pp. 49-57); Cohen (1999, pp. 60-64). Además, puede encontrarse también una reconstrucción y empleo de este para explicar algunas cuestiones relativas a la demostración matemática de la fuerza en Smith (2001).

Finalmente, en la fase tres “estos principios no serán más puramente matemáticos sino que serán aplicados al mundo real de la naturaleza física como es revelada por los experimentos y la observación” (Cohen, 1982, p. 51)⁴. Únicamente en este punto es posible afirmar, de acuerdo con Cohen, que las construcciones matemáticas de Newton se refieren efectivamente a la naturaleza física, pues solo acá los principios matemáticos, tratados en términos físicos ya en el Libro II, se relacionan directamente con los fenómenos observables. En otras palabras, para Cohen la fuerza que describe Newton en los *Principia* se hace progresivamente real en la medida en que Newton hace cada vez más complejo el constructo mental con el que inició su estudio del movimiento de los cuerpos. En la fase tres las modificaciones se hacen en función de las observaciones de los fenómenos, de manera que se puede afirmar que la fuerza que se está describiendo a través de los modelos del mundo es una fuerza semejante a la que actúa en la naturaleza misma, y que conocemos a partir de las observaciones y los experimentos. Esto supone que, según Cohen, las consecuencias matemáticas del estudio del movimiento de los cuerpos en los *Principia* replican las condiciones observadas en la naturaleza. La fuerza debe existir en el mundo, pues las condiciones del modelo implican el ejercicio de un tipo de fuerza para lograr explicar la ley de las áreas y la ley de la armonía de Kepler.

Recientemente Janiak ha retomado y desarrollado esta línea interpretativa clásica en la consideración de la fuerza en Newton como una “cantidad”. La interpretación de Janiak se fundamenta en los argumentos que Newton emplea para responder a las críticas del mecanicismo continental que, según este intérprete, podían considerarse desde dos perspectivas, el “mecanicismo estricto” (cartesiano) y el “mecanicismo débil” (*loose*)⁵. Para Janiak, Newton responde a las críticas del “mecanicismo estricto” al afirmar en los *Principia* que la fuerza es la causa del movimiento de los cuerpos. En otras palabras, la fuerza de Newton implicaba una modificación de las explicaciones causales aceptadas por el mecanicismo al rechazar el contacto entre los cuerpos como la única causa del movimiento⁶. Sin embargo, sin un mecanismo de contacto como explicación a los fenómenos, la fuerza se convertía en un blanco fácil para las críticas del “mecanicismo débil”, pues esto implicaba que la fuerza actuaría a distancia sobre los cuerpos, una explicación que daba pie a que esta fuera calificada como una “cualidad oculta”. Para Janiak, esto enfrasca a Newton en un dilema: o reconoce que

⁴ Smith retoma el argumento de Cohen para sostener el paso de la explicación matemática de la fuerza a la fuerza que actúa en la naturaleza. Cf. Smith (2002). pp. 152-167.

⁵ Cf. Janiak 2008, p. 52.

⁶ Cf. Janiak 2008, pp. 58-65.

la fuerza no existe y la explicación que ha dado de ella es una ficción que sirve para dar cuenta de forma hipotética de los fenómenos, pero que no representa una comprensión del modo en que éstos se comportan; o afirma que existe y acepta que la fuerza actúa a distancia, reconociéndose superado por las críticas de los mecanicistas⁷. Sin embargo, como afirma Janiak, “Newton parece afirmar que la gravedad existe –lo que significa que causa varios fenómenos naturales– y que la acción a distancia debe ser rechazada en la filosofía natural” (2008, p. 56). De acuerdo con Janiak, para zanjar este dilema, Newton desarrolla una explicación matemática de la fuerza que no se preocupa por las cuestiones relativas a su naturaleza física, debido a que la ontología de la fuerza es una cantidad, cognoscible, en todo caso, por el tratamiento matemático que Newton emplea. Esto se evidencia en el lenguaje que este utiliza en los Libros I y II de los *Principia*, donde se exploran las condiciones y consecuencias matemáticas de los movimientos que se siguen al aplicar una fuerza. Para Janiak, “el tratamiento matemático de Newton se propone para identificar una fuerza existente, una causa genuina del movimiento, y no meramente para emplear un dispositivo de cálculo” (2008, p. 57). Esto implica que la explicación matemática de la fuerza no solo permite medirla en función de los parámetros que los *Principia* establecen sino que, a su vez, determinan su realidad, en virtud de las condiciones bajo las cuales son posibles las mediciones.

Según Janiak, esto es posible debido al desarrollo de la distinción entre la explicación física y la explicación matemática de la fuerza en Newton. Ésta se fundamentaba en el uso de las medidas como un dispositivo de cálculo que le permite a Newton medir con la mayor precisión posible las cantidades observables en los fenómenos: la masa, la velocidad, la distancia. Dichas cantidades se pueden medir en la naturaleza y de ellas se puede deducir una fuerza que actúa en el mundo. La medición de la fuerza, entonces, ya no es más una simple cuestión numérica, sino que ésta permitirá afirmar su realidad, en tanto que la fuerza se deduce de medidas reales que se toman desde los fenómenos. Como afirma Janiak:

Sin importar otro tipo de preguntas sobre la ontología de la fuerza (...) el tratamiento matemático que Newton hace de [esta] indica cómo medir[la] al medir la masa y la aceleración. Esto es esencial en la explicación de Newton. Podemos pensar las fuerzas como cantidades físicas, justamente en la medida que la ‘cantidad de materia’ –esto es, la masa– es una cantidad física. Son cantidades físicas porque forman parte del mundo; y son parte del mundo físico porque se pueden medir al medir, obviamente, otras cantidades físicas.

⁷ Cf. Janiak 2008, pp. 53-57.

Así que mi sugerencia es que el tratamiento matemático de la fuerza mide cantidades físicas. Por lo tanto no es matemática en el sentido de que trata solamente con entidades matemáticas (2008, p. 60).

La fuerza matemática, entonces, deja de ser estrictamente matemática, en la medida en que se refiere a entidades físicas reales, de las cuales se desprende la realidad de la fuerza que se explica matemáticamente. Así, según Janiak, la fuerza es para Newton una entidad real, cuya “especie” física podemos determinar únicamente de una forma matemática. Esto implica que, en tanto entidad cuyo único atributo es la cuantificación, la fuerza debe ser una cantidad, cuya realidad se determina, reitero, a partir de las medidas que se obtienen de entidades físicas reales, que se conocen a partir de la experimentación y la observación. Como lo muestra Janiak:

Para él [Newton] las fuerzas existen porque son cantidades que pueden ser medidas; y en efecto, pueden ser medidas al medir otras cantidades físicas que no se pueden controvertir, como la masa y la distancia. Esto asienta ciertas cuestiones que pueden ser consideradas ontológicas. (...) Por lo tanto bajo ciertas condiciones, la respuesta a la cuestión –cuál es la ontología de la fuerza– es simple: una cantidad (Janiak, 2008, pp. 81-82).

78

En definitiva, para la línea interpretativa clásica, como vemos, el tratamiento matemático de la fuerza en los *Principia* de Newton tienen un valor fundamental, pues este le permite alejarse de todas las cuestiones relativas a su naturaleza física y, en este sentido, lograr determinar la realidad de la fuerza como causa de los fenómenos observables. Aunque este modo de comprender el lenguaje matemático empleado por Newton en los *Principia* tiene virtudes perceptibles a la luz de la evidencia textual –como el enfoque sobre el carácter matemático de las demostraciones en los *Principia*–, tiene límites significativos para comprender el problema de la determinación de la realidad de la fuerza a partir de los principios matemáticos establecidos. Estas limitaciones se hacen evidentes a la luz de la lectura realizada por intérpretes como Guerlac y Guicciardini del “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia*. En el siguiente apartado me propongo, entonces, desarrollar esta interpretación más reciente con el objetivo de mostrar las limitaciones de la lectura clásica y explorar los argumentos para sostener la realidad de la fuerza que Newton ofrece en su *magnum opus*.

De la observación a la matematización

Como he pretendido mostrar en el apartado precedente, una de las características de la línea interpretativa clásica es el énfasis en el carácter

matemático del lenguaje con el que Newton aborda el problema del movimiento de los cuerpos en los *Principia*. No obstante, lo que no queda claro a la luz de esta lectura del problema es de qué manera Newton justifica que un acercamiento matemático al movimiento de los cuerpos pueda ser una explicación “suficiente” para determinar la existencia de un tipo de fuerza en la naturaleza, de la cual no tenemos registro empírico. En efecto, la interpretación clásica es limitada para comprender la respuesta que ofrece Newton en el “Escolio general” a las críticas del mecanicismo continental que caracterizaban la fuerza como una cualidad oculta de la materia. A la luz de la línea interpretativa clásica, no es posible comprender, por ejemplo, por qué son suficientes, según Newton, los principios matemáticos establecidos para sostener la realidad de la fuerza. En efecto, aunque los intérpretes que sostienen esta lectura afirman una articulación entre matemáticas y filosofía natural, su acercamiento no permite comprender de qué manera se produce esta articulación. Una insuficiencia significativa si se considera que el propio Newton ofrece una explicación de cómo se produce ésta en el “Prefacio al lector” de la edición de 1687 de los *Principia*. En este apartado haré un análisis de este fragmento del *magnum opus*, siguiendo las lecturas realizadas por intérpretes como Guerlac y Guicciardini.

Uno de los aspectos característicos de las explicaciones al movimiento de los cuerpos en los *Principia* es que éstas se dan en términos matemáticos. Esto se refleja, por ejemplo, en la Definición VIII del *magnum opus* donde Newton afirma que el concepto de gravedad “es meramente matemático, puesto que no considero aquí las causas y las bases de las fuerzas” (1987, p. 126). O, de manera semejante, en la introducción al Libro III, donde sostiene que ha “ofrecido en los libros anteriores principios de filosofía, aunque no tanto filosóficos cuanto meramente matemáticos, a partir de los cuales tal vez se pueda disputar sobre asuntos filosóficos” (1987, p. 613). En consecuencia, es posible afirmar que Newton utiliza conceptos puramente matemáticos para caracterizar los principios que constituyen la explicación de la naturaleza: proporción, medida, cantidad, son conceptos de uso permanente para caracterizar las condiciones de los movimientos de los cuerpos y no se refieren en los *Principia* a las propiedades físicas de estos, sino a su consideración matemática. A mi modo de ver, siguiendo la línea interpretativa más reciente, esto se da debido a la pretensión misma de Newton, expuesta en el “Prefacio al lector” de la edición de 1687 de los *Principia*, de “tratar en esta obra la parte *matemática* que se relaciona con la *filosofía*” (Newton, 1987, p. 97). Este interés supone una relación entre matemáticas y filosofía natural que posibilita a Newton el desarrollo de una explicación matemática de los fenómenos observables que diferencia sus

explicaciones de las difundidas en el siglo XVII⁸. Como consecuencia de dicha relación, Newton establece principios matemáticos que pretenden ser lo más exactos posibles y sobre los que fundamenta su afirmación de que su explicación del movimiento es “suficiente” para determinar la realidad de una fuerza como causa de los fenómenos en la naturaleza. De acuerdo con intérpretes como Guerlac y Guicciardini, esta articulación debe entenderse en el origen que los problemas geométricos tienen en el trazo mecánico de las figuras, planteado por Newton en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia*. Para estos especialistas, que representan el punto más álgido de la línea interpretativa más reciente sobre este problema, el argumento de Newton para sostener la realidad de la fuerza se fundamenta en la idea de que las matemáticas tienen un origen empírico. En esta medida, la constructibilidad de las entidades matemáticas garantiza que éstas describan las condiciones que se observan en la naturaleza⁹.

El “Prefacio al lector” comienza con el señalamiento de Newton que los antiguos consideraban que la mecánica es la disciplina más importante con la que se debe estudiar la naturaleza. Como el propio Newton muestra, esta posición se retoma de la caracterización que hace Pappus al respecto en su *Collectio*¹⁰. A partir de la consideración del papel fundamental que tiene la mecánica en la investigación de la naturaleza, Newton, siguiendo de nuevo a Pappus, afirma que los antiguos habían dividido la mecánica en dos partes: “Los antiguos establecieron dos mecánicas: la *racional*, que procede por demostraciones exactas, y la *práctica*. A la práctica pertenecen todas las artes manuales de las que propiamente toma el nombre de *mecánica*” (Newton, 1987, p. 97). El componente racional de la mecánica se encarga de proceder rigurosamente por demostraciones para explicar el movimiento que se produce por el ejercicio de un arte manual, que resulta propiamente del aspecto práctico de la mecánica. A propósito de esto, Newton afirma en

⁸ A propósito de esto tanto Cohen como Janiak sostienen que la metodología de investigación de Newton en los *Principia* representa uno de los avances más significativos de la modernidad en la investigación de la naturaleza y, como tal, es una variación a los modos difundidos de explicación, tradicionalmente mecanicistas. Cf. Cohen (1987). pp. Ídem. (1987). pp. 140-174. De manera semejante, Domski y Guicciardini argumentan a favor de la idea de que la metodología de investigación que Newton implementa en su filosofía natural está diseñada para ser abiertamente anticartesiana. Cf. Guicciardini (2009). pp. 293-327. Domski (2003).

⁹ A propósito del problema de la constructibilidad y la inteligibilidad de las entidades matemáticas en Newton (Cf. Guicciardini 2009, pp. 313-315), (Domski, 2002).

¹⁰ A propósito de la presencia de Pappus en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia* Cf. Guicciardini (2009). pp. 293-299. Una versión inglesa reciente traducida directamente desde el griego del texto de Pappus al que Newton hace referencia, así como un análisis del mismo puede encontrarse en Cuomo (2000). pp. 91-126.

el comienzo del “Prefacio al lector”, que los modernos pretenden “reducir los fenómenos de la naturaleza a leyes matemáticas” (Newton, 1987, p. 97), con el fin de alejarse de las explicaciones escolásticas de la naturaleza que implicaban la utilización de las formas sustanciales y las cualidades ocultas como un modo de explicación válido en la filosofía natural. La similitud entre los propósitos de la *mecánica racional* de los antiguos y el de los modernos de reducir las explicaciones de los fenómenos a leyes matemáticas saltan a la vista: los modernos pretenden reducir los fenómenos observables a leyes matemáticas, de la misma manera que la *mecánica racional* de los antiguos pretende reducir a demostraciones exactas el movimiento que se sigue del ejercicio de un arte manual. De esta caracterización es importante resaltar que Newton enfatiza el hecho que los antiguos consideran tan solo a las artes manuales como el componente fundamental del aspecto práctico de la mecánica. La importancia de este hecho radica en que Newton, al preocuparse por las fuerzas que operan en la naturaleza como causa del movimiento, extiende la explicación de la mecánica racional hacia el campo de la filosofía natural y no tan solo de la mecánica práctica, entendida como la aplicación de las artes manuales. Sobre esto hablaré en detalle posteriormente.

Newton continúa precisando los términos en que se da la distinción entre *mecánica práctica* y *mecánica racional* en los antiguos. De acuerdo con este, en la medida en que quienes practican un arte manual “suelen proceder con escasa exactitud, ocurre que la *mecánica* entera se distingue de la *geometría* de tal modo que lo que se hace con exactitud se asimila a la *geometría* y lo que se hace con poca exactitud a la *mecánica*” (1987, p. 97). Esto supone que tanto la exactitud de la *geometría* como la falta de ella en la *mecánica* son características supeditadas a quien trabaja con ellas, pero no son propias de las disciplinas en cuanto tales.

El hecho de que la falta de exactitud de la *mecánica* no fuera propia de la disciplina sino del artesano no es algo menor. En efecto, esto posibilita, de acuerdo con Newton, que ésta no se aleje de la *geometría*. De hecho, lejos de distanciarlas, éste plantea una relación entre ambas. Como lo muestra Guicciardini: “Más que excluir la mecánica del reino de la exactitud geométrica, Newton propuso subsumir la geometría bajo la mecánica” (2009, p. 297). En la línea interpretativa más reciente éste es el punto crucial para entender la relación entre matemáticas y filosofía natural que Newton plantea en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia* y que nos posibilita comprender el tratamiento matemático que se hace del movimiento en el *magnum opus*. Para Newton, la geometría se funda en la mecánica, debido a que el trazo de las figuras geométricas es una tarea propia de esta

disciplina y no de la geometría. Según Newton, “los trazados de las líneas rectas y curvas en que se apoya la *geometría* pertenecen a la *mecánica*. La *geometría* no enseña a trazar estas líneas, sino que lo postula” (1987, p. 97). En otras palabras, la postulación y resolución de problemas geométricos solo es posible gracias al trazo mecánico de la figura geométrica, lo que implica el ejercicio de un arte manual que hace concreta dicha figura. Como Newton mismo señala:

La *geometría* no enseña a trazar estas líneas, sino que lo postula. Postula que el aprendiz procure trazarlas exactamente antes de alcanzar el límite de la *geometría*; después enseña cómo se resuelven los problemas mediante estas operaciones, puesto que trazar rectas y círculos es cuestión *problemática* pero no geométrica” (1987, p. 97).

La geometría tiene su origen en la mecánica porque su objeto de estudio son las figuras geométricas que se trazan a partir del ejercicio mecánico. En este sentido Newton concluye: “Se funda, pues la *geometría* en la práctica mecánica y no es otra cosa que aquella parte de la *mecánica universal* que propone y demuestra con exactitud el arte de medir” (1987, p. 98)¹¹. Como vemos, la *geometría* es parte de la *mecánica universal* y tiene como tarea fundamental reducir a demostraciones y proposiciones exactas las mediciones que se hacen sobre las figuras que se trazan mecánicamente.

A renglón seguido, Newton explica que debido a que “las artes manuales se cifran ante todo en mover los cuerpos, ocurre que comúnmente se asocia la *geometría* con la magnitud y la *mecánica* con el movimiento” (1987, p. 98). La asimilación de la *mecánica* al movimiento de los cuerpos y de la *geometría* a la medición de la magnitud de tal movimiento, junto a la fundación de ésta en aquella, le permiten a Newton definir en qué consiste la *mecánica racional*: “En este sentido la *mecánica racional* será la ciencia, propuesta y demostrada exactamente, de los movimientos que resultan de cualesquiera fuerzas y de las fuerzas que se requieren para cualesquiera movimientos” (1987, p. 98). Así, los mecanismos de trazo, en el contexto de los *Principia*, son las fuerzas que producen los movimientos de los cuerpos; mientras que las figuras geométricas son las trayectorias trazadas por un cuerpo cuando éste es sometido a un tipo de fuerza. En el caso de la mecánica de los antiguos, se trataba de una fuerza mecánica, lo que implicaba que

¹¹ La versión inglesa, a mi modo de ver, permite entender de una manera más clara la definición de Newton de la *geometría* como un componente de la *mecánica universal*: “Entonces la *geometría* se funda en la mecánica práctica y no es nada más que la parte de la *mecánica universal* que reduce el arte de medir a proposiciones exactas y demostraciones.” (Newton, 1999, p. 382).

la explicación del movimiento llevaba a la determinación matemática de la fuerza producida por una máquina simple. En el caso de que el estudio no fuera sobre las fuerzas manuales –como lo aborda Newton–, sino sobre la naturaleza, la tarea era significativamente más compleja, porque dicha tarea exige el descubrimiento del mecanismo de trazo en el mundo –una fuerza que actúa como causa del movimiento de los cuerpos. Así, una vez se ha descubierto la fuerza a través de la observación de los fenómenos, los principios matemáticos con los cuales se explica el movimiento de los cuerpos pueden considerarse como deducidos desde los fenómenos. En este punto Newton nos aclara que no está interesado en cualquier tipo de movimiento pues, a diferencia de los antiguos, su interés al utilizar la *mecánica racional* no es el estudio del movimiento que se sigue del ejercicio de un arte manual, sino el de los movimientos que se dan en la naturaleza, a través del ejercicio de una fuerza natural. En otras palabras, Newton extiende el dominio de la *mecánica racional* al estudio de la naturaleza, al enfatizar que su estudio no se centra en las fuerzas manuales, sino en las fuerzas naturales, que podemos deducir desde los fenómenos. Así, Newton sostiene:

Esta parte de la *mecánica* fue cultivada por los antiguos en las *cinco fuerzas* relativas a las artes manuales, los cuales apenas tuvieron en cuenta a la gravedad (pues no es una fuerza manual) más que en los pesos a mover por dichas fuerzas. En cambio nosotros, cultivando no las artes, sino la filosofía, y escribiendo no de las fuerzas manuales, sino de las naturales, tratamos sobre todo lo relativo a la gravedad, levedad, elasticidad, resistencia de los fluidos y fuerzas por el estilo, ya sean de atracción o de repulsión; y por ello proponemos estos nuestros como principios matemáticos de filosofía (1987, p. 98).

La variación del enfoque de Newton respecto al de los antiguos supone una cuestión fundamental para Newton: ¿cómo se conocen las fuerzas que actúan en la naturaleza que serán objeto de la explicación desde la *mecánica racional*? En efecto, las fuerzas que se producen en las artes manuales se descubren en el ejercicio del arte manual mismo, en la medida en que es el hombre quien produce la fuerza. No obstante, si se trata de fuerzas que actúan en la naturaleza, Newton debe determinar de qué manera se descubren éstas, para pasar posteriormente a explicar su modo de acción a través de proposiciones y demostraciones matemáticas. Por ello, Newton sostiene: “Toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos del movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza y después desde estas fuerzas demostremos el resto de los fenómenos” (1987, p. 98). Esto supone que, para Newton, la *mecánica racional* es una

disciplina con un propósito dual: por un lado, debe descubrir las fuerzas que producen los fenómenos observados de los movimientos, para que, una vez descubiertas, por otro lado, éstos se puedan explicar matemáticamente. A propósito de esto, y considerando el hecho de que la *geometría* surge de la *mecánica*, Guicciardini afirma: “La mecánica racional es así no solo tan exacta como la geometría sino que precede a la geometría, ya que genera los objetos geométricos” (2009, p. 298). Llevándolo al caso de la investigación de las fuerzas que actúan en la naturaleza, diríamos que la *mecánica racional* no solo pretende explicar matemáticamente los movimientos y su causa, sino que se preocupa por descubrir esta última a partir de la observación de los fenómenos.

El “Prefacio al lector” entonces, de acuerdo con esta línea interpretativa, nos permite entender la íntima relación que Newton establece entre matemáticas y filosofía natural, al analizar el origen de la *geometría* en la *mecánica*. En efecto, gracias a esta relación Newton desarrolla una filosofía de las matemáticas particular, en la que las entidades matemáticas se construyen en virtud del ejercicio de una fuerza mecánica¹². Esto muestra a Newton como un empirista consecuente, pues el desarrollo de las proposiciones matemáticas que explican el movimiento de los cuerpos estaría supeditado a la postulación de fuerzas mecánicas que permiten trazar las figuras que se estudian desde un enfoque geométrico. Como muestra Guicciardini, al caracterizar algunas interpretaciones que se han dado al problema del origen empírico de las matemáticas en el siglo XVII: “Estudios recientes entregados a la historia de las matemáticas británicas han relacionado las obras de Hobbes, Barrow y Newton con la filosofía empirista seguida en Inglaterra y Escocia” (2009, p. 313)¹³.

De igual forma, por esta relación, además, es posible comprender la pretensión de Newton de estudiar los fenómenos observables en la naturaleza a partir de principios matemáticos. Estos son suficientes para determinar la realidad de la fuerza como causa del movimiento, pues se deducen desde los fenómenos, como afirma en el “Escolio general” añadido a la segunda edición de los *Principia*. Efectivamente, los movimientos que se tratan matemáticamente en el *magnum opus* solo pueden darse en la medida en

¹² Al respecto se ha desarrollado una discusión entre los intérpretes acerca de si Newton pensaba que las entidades matemáticas eran construidas o eran inteligibles. Debido a que no es el tema de este artículo remito al lector a Guicciardini (2009, pp. 313-315).

¹³ Ciertamente esta interpretación plantea el problema de si las matemáticas de Newton son constructivistas o realistas. Debido a que éste no es el problema central de esta investigación remito al lector a Guicciardini (2009, pp. 313-315). Asimismo el problema se encuentra desarrollado más detalladamente en Donski (2002).

que un tipo de fuerza sea la causa de que se produzca el movimiento. Esto supone que las matemáticas de los *Principia* tienen un origen empírico, lo que relaciona las matemáticas con la filosofía natural, pues la fuerza que actúa como causa del movimiento de los cuerpos en la naturaleza solo puede descubrirse a partir de la observación y los experimentos sobre la naturaleza.

Para Newton, en definitiva, el desarrollo de unos principios matemáticos que explican el movimiento de los cuerpos en la naturaleza es posible únicamente gracias a que se conoce dicho movimiento a partir de la observación y la experimentación de los fenómenos. Así, la articulación de las matemáticas con la filosofía natural que Newton explica en el “Prefacio al lector” de los *Principia*, es el argumento central para sostener la realidad de la fuerza como causa de los fenómenos. En efecto, como se afirma en el “Prefacio”, debido a que los problemas geométricos surgen del trazo mecánico de figuras, y en el caso de los *Principia* el trazo mecánico es producido por una fuerza natural, entonces es posible afirmar que los principios matemáticos se deducen desde los fenómenos que son producidos por el ejercicio de este tipo de fuerza. Esto lo sabemos debido a que, para lograr desarrollar los problemas geométricos, que posibilitan la postulación de entidades matemáticas, es necesario el conocimiento de los mecanismos de trazo de las trayectorias de los movimientos de los cuerpos en la naturaleza.

Aunque en el “Prefacio al lector” Newton no ofrece pista alguna para lograr comprender de qué manera se da esta “deducción desde los fenómenos” de las proposiciones matemáticas, ya hemos visto que nos permite entender que el carácter matemático de las proposiciones se fundamenta en la íntima relación existente entre matemáticas y filosofía natural. No obstante, una clave para lograr entender la metodología empleada por Newton para la “deducción desde los fenómenos” se puede encontrar en algunos pasajes de la *Opticks* en los que Newton esboza el método analítico-sintético que emplea en su investigación de la naturaleza.

El método analítico-sintético y la metodología de investigación de Newton

Aunque Newton mantiene en los *Principia* una clara indiferencia respecto a los conceptos con los que caracteriza a la fuerza en la explicación matemática del movimiento que le permite, por ejemplo, pasar de caracterizarla como una atracción a hacerlo como un impulso¹⁴, en algunos conceptos de la filosofía natural Newton se muestra riguroso y decididamente cuidadoso. Una muestra de esto se encuentra en la primera

¹⁴ Cf. Newton 1987, p. 126.

de sus “Reglas para la filosofía natural”. En ella Newton pretende reducir el número de causas que producen los fenómenos a aquellas que puedan subsumirse a ellos y con las cuales éstos se puedan explicar. Como muestra Spencer, la preferencia de Newton por el término *explicandis* sobre *explanare* en este fragmento es una prueba de su pretensión de adaptar el método analítico-sintético en la filosofía natural, excluyendo de esta la referencia a explicaciones físicas del movimiento y la fuerza. Esta regla se convierte, en este sentido, en una anticipación a algunas alusiones metodológicas que aparecerían más tarde en el “Escolio general”¹⁵:

La regla 1 en el latín original es la siguiente: “Regula 1: Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quamquae et vera sunt et earum phenomenis explicandis sufficiunt.” [Nótese que Newton usa *explicandis*, un participio de *explicare*, que en ese periodo tenía a menudo el sentido del inglés *explicate*. Newton no usa *explanare*, la cual en ese periodo era a menudo equivalente a la palabra inglesa *explain* (2004, p. 760)].

El uso de Newton del latín *explicandis* en vez de *explicate* muestra un aspecto importante de su metodología de investigación, pues esta preferencia conceptual permite comprender el papel que tiene el análisis en tanto base para la explicación de los fenómenos en la obra de Newton. Este papel se refleja no solo en los *Principia* sino también en su *Opticks*. A propósito de esto, Spencer afirma a renglón seguido: “Este punto vale la pena mencionarlo ya que *explicate* significa ‘dar un análisis detallado de’, mientras *explain* significa ‘dar la razón para o causa de’” (2004, p. 760). En otras palabras, en la regla 1 Newton muestra, según Spencer, lo que más tarde señalaría en el “Escolio general”: explicar los fenómenos no requiere determinar su causa y diversas propiedades desde la física, sino explicarla a partir de las características que se logran conocer con un análisis detallado sobre estos. En tanto que el método de análisis es un aspecto determinante en la metodología de investigación de Newton, en este apartado mostraré de qué manera este método, junto al de síntesis –heredados de las matemáticas–, permiten sostener la afirmación de Newton de que su explicación del movimiento en los *Principia* es suficiente para determinar la realidad de la fuerza que actúa como causa de los fenómenos. Para hacer esto, me detendré específicamente en la *Querie* 31 de la *Opticks* en donde Newton explica en qué consiste este método de análisis y síntesis y cómo lo aplica en su particular filosofía

¹⁵ Me refiero a que la regla 1 anticipa algunos elementos del “Escolio general” no solo porque ella antecede al “Escolio” en el texto, sino porque, recordemos, la regla 1 aparece desde la primera edición como “Hipótesis 1”. Así, la anticipación también se da en términos cronológicos. Cf. Newton (1987). p. 615.

natural, contrastándolo con el análisis ya presentado del “Prefacio al lector”. Esto me permitirá determinar qué papel juega dicho método en la explicación de los fenómenos del movimiento en los *Principia* y en la afirmación de Newton de la suficiencia de su explicación para determinar la realidad de la fuerza como causa de dichos fenómenos.

El penúltimo párrafo de la *Opticks* se ha considerado como *locus classicus*¹⁶ para el estudio de la metodología de investigación de Newton, pues en él se encuentran consignadas las exigencias que, según Newton, debe satisfacer cualquier afirmación que pretenda explicar correctamente la naturaleza. Allí se afirma que

Tanto en las matemáticas, como en la filosofía natural, la investigación de las cosas difíciles por el método de análisis, debe siempre preceder al método de composición. Este análisis consiste en hacer experimentos y observaciones, y en esbozar conclusiones generales desde ellos por inducción, y en no admitir objeciones contra las conclusiones, sino aquellas que son tomadas de los experimentos, u otras ciertas verdades (Newton, 2003, p. 404).

Esto muestra con claridad que para Newton la filosofía natural debe seguir un método semejante al de las matemáticas para explicar los fenómenos naturales de los que tenemos algún registro empírico, con el fin de determinar sus causas a partir de la observación y los experimentos. En otras palabras, Newton afirma allí que su metodología debe comenzar con el análisis de los fenómenos que antecede al método de composición (o síntesis) que es un método estrictamente demostrativo y que se fundamenta en aquel. Este método de análisis y síntesis es, según Newton, semejante al de las matemáticas, en tanto que éstas basan sus demostraciones en las definiciones y axiomas que son evidentes, pues se conocen por medio del análisis, llegando hasta las proposiciones que se demuestran sintéticamente, gracias a que se fundamentan en aquellos. De manera semejante, en la filosofía natural, de acuerdo con Newton, comenzamos por la observación de los fenómenos, para llegar a la deducción de las fuerzas que los producen y que se pretenden explicar matemáticamente. Por esto, como afirma Guicciardini, “el procedimiento de deducción desde los experimentos (en la *Opticks*) y desde los fenómenos y las observaciones (en los *Principia*) tiene la estructura tentativa, heurística y compleja del método analítico heurístico de los matemáticos” (2009, p. 317). La similitud con lo que se afirma en el “Prefacio al lector” y en el “Escolio general” de los *Principia*, como se ha mostrado siguiendo la línea interpretativa más reciente, es clara: el estudio de la naturaleza, para Newton, debe comenzar con la observación y los

¹⁶ Cf. Guerlac 1973, p. 379.

experimentos de los fenómenos de donde se deducen algunos principios con los que se pueden explicar los comportamientos de los cuerpos. En tanto que tales principios se explican a partir de demostraciones y proposiciones matemáticas, como afirma Newton en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia*, pueden hacerse generales, convirtiéndose en explicaciones válidas de las condiciones que generan los fenómenos observados y experimentados¹⁷. Como afirma Guicciardini,

Newton podía esbozar una comparación entre el método experimental adoptado en la filosofía natural y el método de análisis de los matemáticos porque situó la experimentación en el contexto de un procedimiento matemático deductivo (las causas, o los principios, no son inducidos sino deducidos desde los fenómenos). (...) La deducción de las fuerzas desde los fenómenos es presentada por Newton como la etapa analítica de la filosofía natural matemática (2009, pp. 317-318).

En este mismo sentido Newton afirma en el “Prefacio al lector” que “toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos del movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza” (Newton, 1987, p. 98). Esto supone que lo que Newton llama la “investigación de las cosas difíciles” corresponde al estudio de las causas de los fenómenos observables, que se conocen a partir del análisis que se hace sobre ellos. Sin embargo, como el propio Newton muestra, del análisis de los fenómenos no se sigue su explicación matemática de manera inmediata sino únicamente el conocimiento de la causa que los origina:

Por este modo del análisis podemos proceder desde los compuestos a los ingredientes, y desde los movimientos a las fuerzas que los producen; y en general, desde los efectos a las causas, y desde las causas particulares hacia otras más generales, hasta que el argumento termine en la más general (Newton, 2003, p. 404).

El método de análisis es el método que nos permite descubrir las fuerzas que actúan como causas de los fenómenos del movimiento. El método sintético permite demostrar que tal causa en efecto corresponde con los fenómenos de los que se ha deducido. A propósito de este punto en particular Guerlac sostiene que “En contraste con Descartes, los lógicos de *Port Royal* y Gravesande, Newton ve los dos métodos [análisis y síntesis] como si constituyeran un procedimiento único, en el cual uno comienza

¹⁷ A propósito de las diferencias existentes en la filosofía natural de Newton entre las observaciones y los experimentos Véase: Shapiro, 2007; Iliffe, 2004; Strong, 1957; Raftopoulos, 1999.

por el análisis o resolución, que es seguido por una demostración sintética” (1973, p. 384). En otras palabras, el método analítico-sintético se constituye como una herramienta dual para el descubrimiento de las causas que originan los fenómenos pero, a su vez, permite la demostración de ellas, a partir de la implementación de un sofisticado sistema matemático. En este punto es posible afirmar que este método dual expresa el mismo propósito que tiene la *mecánica racional* que Newton caracterizó en el “Prefacio al lector” de la primera edición de los *Principia*. En efecto, esta mecánica permite descubrir unas fuerzas en la naturaleza que actúan como causas de los fenómenos, gracias a su origen mecánico, pero a su vez, por su contenido geométrico, pretende demostrar que tales causas explican los fenómenos.

En el “Prefacio al lector” se especifica que la demostración debe ser matemática. Esto hace que los principios demostrados adquieran un carácter legaliforme que permite que se consideren como una explicación válida para todos los fenómenos observables del mismo tipo, incluso, aquellos de los que no tenemos registro empírico. Esto significa, como ya he mencionado, que la fuerza que actúa como la causa de los fenómenos observables se descubre en la naturaleza a través del análisis. Hecho esto, es legítimo suponer la fuerza y explicar con ella “el resto de los fenómenos”. Como afirma Ducheyne

En otras palabras, el análisis en los *Principia* consiste en derivar “de los fenómenos celestes las fuerzas gravitacionales por las cuales los cuerpos tienden hacia el sol y los planetas individuales” y la síntesis en deducir “los movimientos de los planetas, los cometas, la luna y el mar” de las fuerzas derivadas de la teoría de la gravitación universal (2012, p. 21).

Algo semejante afirma Newton en el párrafo en cuestión en la *Querie* 31 de la *Opticks*: “Este es el método de análisis y el de síntesis consiste en asumir las causas descubiertas, y establecidas como principios, y por ellas explicar los fenómenos procediendo desde ellas, y probando las explicaciones” (Newton, 2003, pp. 404-405). Así, en palabras de Guicciardini, “Una vez las fuerzas están establecidas, el proceso es reversado y la etapa sintética comienza. Ahora uno deduce los fenómenos desde la fuerza” (2009, pp. 317-318). Es decir, en la medida en que la fuerza se descubre desde los fenómenos, su demostración matemática asume como dada su existencia. Al considerarla como tal, entonces, los fenómenos se pueden explicar a partir de ella, sin necesidad de cuestionar la realidad de la fuerza que se ha descubierto previamente. En otras palabras, el descubrimiento de la fuerza es *a priori* al desarrollo de la demostración que se da de ella en los *Principia*. Esto implica una clara limitación del procedimiento deductivo en los *Principia*, pues el análisis requiere de una demostración sintética para

constatar que la fuerza, en efecto actúa como causa del movimiento. Esto justifica la formulación de principios matemáticos para la filosofía natural, pues la síntesis geométrica permite demostrar los principios que se conocen empíricamente en el mundo.

En consecuencia, es posible afirmar que los *Principia* tan solo exponen la parte sintética del método que Newton implementa en su filosofía natural, pues en el *magnum opus* no se muestran las condiciones del descubrimiento de la fuerza, sino tan solo la demostración matemática a partir de sus efectos. Ahora bien, en este sentido la caracterización de la metodología de investigación de Newton que se hace en la interpretación clásica es correcta. Sin lugar a dudas, como afirman Cohen, Koyré y Janiak, los *Principia* se concentran en estudiar matemáticamente los movimientos que se siguen de la acción de un tipo de fuerza sobre un cuerpo. No obstante, esta interpretación clásica resulta limitada para comprender, de un modo más general, la metodología que Newton desarrolla en los *Principia* para responder a las críticas del mecanicismo continental y sostener la realidad de la fuerza. En efecto, a la luz de la interpretación más reciente es posible observar que Newton desarrolla una articulación entre matemáticas y filosofía natural que le permite plantear el origen empírico de las entidades matemáticas. Este origen empírico asegura que aun cuando se trata de entidades matemáticas, el objeto de estudio sea, en definitiva, la naturaleza misma de donde tales entidades se deducen. Para Newton, en últimas, la realidad de la fuerza se puede determinar de manera suficiente en los *Principia* gracias a que esta fuerza actúa como un mecanismo de trazo, para producir las trayectorias de los cuerpos que son, a su vez, las figuras geométricas del mundo natural.

Esto supone que la interpretación clásica es claramente limitada para comprender el origen empírico de las entidades matemáticas con las que Newton desarrolla su explicación del movimiento de los cuerpos a partir del ejercicio de una fuerza atractiva. En otras palabras, si se comprende el problema de la demostración de la realidad de la fuerza únicamente en términos del lenguaje matemático desarrollado por Newton, se pierde de vista el carácter empírico de las matemáticas de Newton, que se justifican a partir del desarrollo de una metodología de investigación particular que se fundamenta en el empleo del método analítico sintético de los geómetras antiguos.

Bibliografía

- Cohen, I. B. (1980). *La Revolución newtoniana y la Transformación de las Ideas Científicas*. Solís S., C. (Trad.). Madrid: Alianza.
- _____. (1987). Newton's third law and universal gravitation. *Journal of the History of Ideas*, 48 (4), 571-593.
- _____. (1999). A Guide to Newton's Principia. En Newton, I. *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy* (pp. 1-370). Cohen, I. B. & Whitmann, A. (Trad.). Budenz, J. (Asis.). Berkeley: University of California Press.
- _____. (2002). Newton's concepts of force and mass, with notes on the Laws of motion. En Cohen, I. B. & Smith G. E. (Eds.). *The Cambridge Companion to Newton* (pp. 57-84). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, I. B. & Smith G. E. (Eds.). (2002). *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ducheyne, S. (2006). "The argument(s) for universal gravitation". En *Foundations of Science*, Vol. 11, pp. 419-447.
- _____. (2012). *The Main Business of Natural Philosophy. Isaac Newton's Natural Philosophical Methodology*. Dordrecht: Springer.
- Garrison, J. W. (1987). Newton and the relation of mathematics to natural philosophy. *Journal of the History of Ideas*, 48(4), 609-627.
- Guerlac, H. (1973). Newton and the method of analysis En Wiener, P. (Ed.). *Dictionary of the history of ideas* (pp. 378-391). Vol. 3. New York: Charles Scribner's sons.
- Guerlac, H. & M. C., Jacob. (1969). Bentley, Newton, and providence: The Boyle Lectures once more. *Journal of the History of Ideas*, 30(3), 307-318.
- Guicciardini, N. (1998). Did Newton use his calculus in the *Principia*? *Centaurus*, 40(3-4), pp. 303-344.
- _____. (1999). *Reading the Principia: The Debate on Newton's mathematical Methods of Natural Philosophy from 1687 to 1736*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____. (2002). Analysis and synthesis in Newton's mathematical work. En Cohen, I. B. & Smith, G. E. (Eds.), *The Cambridge Companion to Newton* (pp. 308-328) Cambridge: Cambridge University Press.
- Harper, W. L. (2002). Newton's argument for universal gravitation. En Cohen, I. B. & Smith, G. E. (Eds.), *The Cambridge Companion to Newton* (pp. 174-201) Cambridge: Cambridge University Press.
- _____. (2011). *Isaac Newton's scientific method. Turning data into evidence about gravity and cosmology*. New York: Oxford University Press.
- Janiak, A. (2000). Space, atoms and mathematical divisibility in Newton. *Studies in History and Philosophy of Science*, 31(2), 203-230.
- _____. (2004) Introduction to Newton: Philosophical Writings. En Newton, I. (2004) *Newton: Philosophical Writings*. Janiak, A. (Ed.) (2000), pp. ix-xxxi.
- Janiak, A., Schliesser, E. (Eds.). (2012). *Interpreting Newton. Critical Essays*. New York: Cambridge University Press.

- Koyré, A. (1965). *Newtonian Studies*. London: Chapman and Hall.
- Newton, I. (1962). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library of Cambridge*. Hall, A. R. & Hall, M. B. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (1965a). De motu corporum in gyrum. En Herivel, J. (1965). *The Background to Newton's 'Principia'. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*. En Herivel, J. Oxford: Clarendon Press.
- _____ (1965b). De motu Corporum in Mediis Regulariter Cedenbitus. MS. Add. 3965. En Herivel, J. *The Background to Newton's 'Principia'. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*. Oxford: Clarendon Press.
- _____ (1977). Óptica o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones y Colores de la Luz. Solís, C. (Trad.). Madrid: Alfaguara.
- _____ (1987). *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Escohotado, A. (Trad.). Barcelona: Tecnos.
- _____ (1999) *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Cohen, I. B. & Whitmann, A. (Trad.). Budenz, J. (Asis.). Berkeley: University of California Press.
- _____ (2003). *Opticks, or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light*. New York: Prometheus Books.
- Spencer, Q. (2004). Do Newton's rules of reasoning guarantee truth... must they?. *Studies of History and Philosophy of Science*, 35, pp. 759-782.