

2 ej m



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"EL METODO NEWTONIANO"

T E S I S
Que para obtener el titulo de
F I S I C O
p r e s e n t a

YUNUHEN HERNANDEZ RODRIGUEZ



Director de Tesis: FIS. JOSE ERNESTO MARQUINA FABREGA

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION REGULAR

25 8608



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: "EL METODO NEWTONIANO"

realizado por YUNUHEN HERNANDEZ RODRIGUEZ

con número de cuenta 9251795-8 , pasante de la carrera de FISICA.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

FIS. JOSE ERNESTO MARQUINA FABREGA

Propietario

DR. GODFREY GUILLAUMIN JUAREZ

Propietario

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA

Suplente

M. EN C. JULIETA NORMA FIERRO GOSSMAN

Suplente

DR. MARCO ANTONIO MARTINEZ NEGRETE

Consejo Departamental de Física

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA

Dr. E. Blázquez
[Signature]
[Signature]
[Signature]
[Signature]
[Signature]
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE FISICA

Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía había de recordar aquella tarde remota en que su padre lo llevó a conocer el hielo.

Gabriel García Márquez, Cien años de soledad.

A ti, Picita π

Mi más sincero agradecimiento para todas aquellas personas que siempre me apoyaron. De manera especial, agradezco a ese par de empedernidos newtonianos, Pp y Godofredo, todas las ideas y discusiones que me proveyeron.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I	10
NEWTON Y SU CONTEXTO HISTÓRICO	
CAPÍTULO II	22
CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO NEWTONIANO	
CONCLUSIÓN	75
BIBLIOGRAFÍA	81

INTRODUCCIÓN

Una faceta importante de la revolución científica del siglo XVII fue un intenso interés en la metodología científica. Cuál era el método correcto para la ciencia no fue sólo una preocupación de los actualmente considerados filósofos, como Bacon (1561-1626) y Descartes (1596-1650), sino también de los considerados científicos como Galileo (1564-1642), Harvey (1578-1657), Hooke (1635-1703), Huygens (1629-1695), Leibniz (1646-1716), Boyle (1627-1691), y Newton (1642-1727). En los libros más importantes de Newton, los *Principia* y la *Óptica*, hay una atención muy especial hacia el método de la ciencia, es decir, la manera de proceder para generar descubrimientos o confirmar una teoría o un principio.

Las pautas metodológicas, para Newton, no sólo eran un simple y sencillo camino hacia la verdad científica, como ahora está muy en boga considerar, sino, entre otras cosas, eran una guía para diseñar y llevar a cabo los experimentos, así como para deducir conclusiones verdaderas de ellos.¹

Newton fue un hábil experimentador, en el tiempo en que los cánones de la ciencia experimental apenas se estaban forjando. Por

¹ Por ejemplo, la *Óptica* es un verdadero puntuario de metodología, del arte de la experimentación. Newton no solamente entra en detalle en algunos experimentos fundamentales, sino que también explora sus implicaciones metodológicas y su posible significado. A lo largo de estos discursos metodológicos, hay incluso una presentación del problema de la causa de la gravedad en una forma no introducida en los *Principia*. También en los *Principia*, los escolios juegan el papel de reflexiones de las implicaciones de su trabajo y son tales sus reflexiones que incluso lo llevan a definir a Dios.

ejemplo, en contraste con muchos de sus contemporáneos como Hooke y Huygens, estaba preocupado por eliminar los efectos secundarios que enmascararan la relación de los resultados con las cuestiones fundamentales que se estudiaban. En el diseño de experimentos con péndulos largos, él se fijaba en que cualquier vibración significativa en el soporte fuera eliminada. Otro ejemplo es que en los experimentos en los cuales los objetos pesados eran dejados caer, en la iglesia de St. Paul, fue muy cuidadoso para que el mecanismo que los soltara no influyera en los resultados.

El estudio del método newtoniano es interesante en la medida que toca muchos aspectos importantes en la investigación tanto experimental como teórica. Así, no sólo estudiaremos qué entiende Newton por investigación experimental, sino cuáles eran, a su entender, los principales objetivos de toda la ciencia de su época, y cuál era la mejor manera de llevarlos a cabo.

Newton escribió varias pautas metodológicas acerca de cuál era la mejor manera para indagar la naturaleza en varios de sus escritos científicos. El objetivo de esta tesis es doble. Por un lado, mostraré cómo estas pautas metodológicas son el reflejo, en gran medida, de ciertas circunstancias históricas, como la inexistencia de cánones metodológicos hegemónicos. Una dificultad central para la investigación de Newton fue que no existían patrones de argumentación y justificación plenamente aceptados por toda la comunidad. Por otra parte, Newton, trabajando sobre un tema en particular realizó frecuentes incursiones hacia diferentes campos que nosotros consideraríamos sin relación, e.g., en sus trabajos de

óptica encontramos muchas referencias a la alquimia y a la teología. Trataré de mostrar que estas incursiones son inherentes a la manera de investigar la naturaleza en la Filosofía Natural del siglo XVII.

Estas dos tesis serán estudiadas mediante una caracterización general de la práctica científica de la época, así como mediante un análisis de las pautas metodológicas articuladas por Newton en diferentes escritos.

En el siglo XVII no existía la palabra ciencia; las personas que se dedicaban a indagar a la naturaleza se decían practicantes de la "Filosofía Natural", de lo que, consideraré como ciencia de la época al trabajo intelectual que se desarrolló bajo esta disciplina. El presente trabajo empezará analizando el objeto de estudio de la Filosofía Natural así como las corrientes principales que existían en ella.

Así, en la sección 1.2, se estudiará la Filosofía Natural, su objetivo y su influencia en el joven Newton. Se verá que la temática de estudio de la Filosofía Natural era muy variada. La Filosofía Natural estudiaba tópicos tan apartados, para nosotros, como la fisiología y la física. La repercusión de esta disparidad en los temas de la Filosofía Natural, en las obras de Newton, se observa por las digresiones, sobre todo en los Escolios y en las *Queries*, hacia campos que ahora se consideran ajenos.

El apartado 1.3 se concentrará en delinear los principales aspectos personales que influyen en sus investigaciones del mundo natural. Se tomarán en consideraciones las influencias de Descartes

y Gassendi (1592-1655) en el joven Newton, así como se analizará el papel personal tan importante que juega Dios en el mundo. Se verá de qué manera el Dios newtoniano es actuante en el mundo y cuáles son las características que se le asignan. Esto último es importante debido a el papel preponderante que juega la teleología, tema que será tratado en el apartado 2.9.

Después de estas consideraciones contextuales, se tratará de entender en qué sentido Newton es empirista.² Para este propósito, en el apartado 2.2, se estudiará su teoría de la percepción, donde nos daremos cuenta de que para él no existe ninguna certeza a priori. Bajo este mismo camino se estudiará, en el apartado 2.3, la "deducción de los fenómenos", donde quedará establecido que Newton entiende por "fenómeno" tanto constructos mentales como "hechos" de la naturaleza. También se estudiará en qué sentido "deduce" a partir de los "fenómenos", concluyendo que existen, básicamente, dos maneras: una matemática, muy emparentado con la manera en que está escrito *Los Elementos* de Euclides, y otra, referente a la manera en que se deducen enunciados empíricos de los experimentos. Newton espera que la lógica e implacabilidad del primer sentido siempre se imponga sobre el segundo, lo que haría enunciados empíricos cuya veracidad fuera incuestionable.

En el apartado 2.4 se tocará un problema clásico en la metodología newtoniana; el papel del "análisis" y "síntesis", o

² El sentido en que Newton es empirista es de vital importancia para entender su metodología ya que muchas de sus tesis están apoyadas en elementos como "deducción de los fenómenos", "inducción en los fenómenos", etc. Para un análisis detallado del empirismo newtoniano ver los apartados 2.2-2.5.

"resolución" y "composición". Se muestra cómo el papel del "análisis" y la "síntesis" en la "deducción de los fenómenos" le permite tanto descubrir causas "verdaderas", como corroborar que las mismas actúan en el mundo. Esta herramienta metodológica le ayuda a deducir correctamente los enunciados empíricos de los experimentos y las causas del comportamiento natural por los cuales ocurren dichos fenómenos, y a corroborar el funcionamiento de las mismas en el mundo, mediante las "predicciones" del comportamiento natural.

Para concluir con el problema de deducir afirmaciones empíricas de los fenómenos, se toma en consideración las "reglas para filosofar". Estas reglas, que son estudiadas en el apartado 2.5, tratan el problema de las causas, las analogías, la salvaguardia de la inducción en contra de las hipótesis, y el método de lo que algunas veces se ha llamado transducción.³ Este estudio nos instruirá sobre la manera en que Newton considera han de ser tratados los datos experimentales observados en la naturaleza, esto es, principalmente, la manera de hacer generalizaciones y de buscar causas. Relacionado con las Reglas de Filosofar, también se encuentran las hipótesis, su uso y abuso. Este tópico, por su extensión, se tratará en el apartado 2.5.

³ La transducción se utiliza para asignar propiedades discernibles de los objetos de un experimento hacia objetos, con las mismas características, con los cuales no se experimentó. Por ejemplo, como la masa ha sido observada en cualquier muestra de materia en la que nosotros podemos hacer directamente experimentos, y como la masa de cualquier parte de materia es constante sobre todas las condiciones físicas, la tercera ley de razonamiento de Newton justificaría la atribución de masa como propiedad de los planetas, cometas, el Sol, y las estrellas.

Uno de los tópicos más importantes en la metodología newtoniana es el problema del papel de las hipótesis en la ciencia. Tan severo fue Newton en no confundir quimeras hipotéticas con explicaciones científicas que él especificó que ninguna hipótesis o explicación hipotética --así sea "metafísica o física, así sea cualidad oculta o mecánica"-- tiene lugar en la "filosofía experimental".

Newton cambiará su opinión en favor de una posible utilidad de las hipótesis, en un escrito presentado a la *Royal Society*, declarando que la "filosofía la cuál Mr. Newton [hablando de él mismo] en sus *Principia* y *Óptica* ha buscado es experimental", para continuar alabando, en su muy peculiar forma, que en esta "Filosofía experimental ... las hipótesis no tenían lugar." Después continúa diciendo que hay un camino legítimo para usar las hipótesis y este es, "como conjeturas o cuestiones propuestas a ser examinadas por experimentos." En este apartado se ahonda más en los empleos y censuras que señala Newton acerca de la utilización de hipótesis en la ciencia.

Uno de los pasajes mas citados del método en el primer escrito científico publicado por Newton, *De la luz y los colores*, fue su discusión acerca de los *experimentum crucis*, "experimentos cruciales". Esta noción, que se estudia en el apartado 2.7, fue tomado por Newton de la *Micrographia* de Robert Hooke. Se refiere a un método de decidir entre dos teorías alternativas, como una encrucijada del pensamiento (de ahí su nombre), donde un experimento puede decidir cual de los dos caminos seguir.

Los *experimentum crucis* son relacionados con el problema de la verificación, de las bases experimentales para escoger entre dos alternativas teóricas. Este era, para Newton, parte de un método general de sometimiento a prueba al que pertenecen también el "análisis" y la "síntesis".⁴

Una vez que se han analizado todos estos aspectos metodológicos sólo resta discernir el papel de las leyes y la matemática en Newton. Este tema se estudia con detalle en el apartado 2.8, haciendo hincapié en su manera de ver a las leyes como instancias descriptivas de la naturaleza. Una descripción que debería ser lo más precisa posible, deberá utilizar las matemáticas como la herramienta que dota de precisión a las leyes empíricas. Las leyes empíricas obtenidas mediante el esquema del "análisis" y "síntesis" tenían la pretensión de ser verdaderas, y por su conexión con la "deducción de los fenómenos", indubitables.

En el tópicó postrero, 2.9, se analizará cuál es la función y objetivos de la ciencia para Newton. Se encuentra que la ciencia tiene como función mostrar la existencia de Dios. Este objetivo de la ciencia en general, se analizarán en el siguiente apartado

⁴ Un ejemplo en el que asume esta postura es la demostración (en la Proposición 4, libro tres, de los *Principia*) de que la fuerza de gravedad terrestre se extiende hasta la Luna. Si la fuerza de gravedad actuara sobre un cuerpo a un distancia de 60 radios del centro de la Tierra, él afirmaba que si esta fuerza variara como el inverso del cuadrado de la distancia (como lo hace la gravedad), entonces un objeto ubicado ahí caería hacia la Tierra con una aceleración de 1/3600 de la aceleración de caída libre en la superficie de la Tierra. Cálculos simples y directos muestran que la Luna se mueve en su órbita con una velocidad que cae de su tangente, hacia el centro de la Tierra, con una aceleración que es prácticamente la predicha de 1/3600 de la aceleración de la caída terrestre.

resaltando la manera en que Newton intenta demostrar la existencia de Dios, a través de su Creación.

I. NEWTON Y SU CONTEXTO HISTÓRICO

1.1 Introducción

En este capítulo se estudiarán los aspectos contextuales de la época, así como algunos aspectos importantes de la personalidad de Newton. En el primer apartado se delimitará el objeto de estudio de la Filosofía Natural, se discutirán las principales corrientes que existen dentro de la misma y se establecerán algunas influencias en Newton. Se concluye que, para Newton, el objeto de estudio de la Filosofía Natural era la manifestación de Dios en el mundo.

En la segunda parte de este capítulo se considera cómo concibe Newton a Dios y cuál es su postura ante la religión. Se encuentra que Newton era arrianista y que concebía un Dios definido literalmente como está en las Sagradas Escrituras, como amo y Señor de todo lo que se encuentra en el Universo.

1.2 La Filosofía Natural

A mediados del siglo XVII las ciencias no estaban divididas como ahora lo están. Todo estudio concerniente a la naturaleza pertenecía a un sólo rubro llamado Filosofía Natural. La Filosofía Natural versaba en descubrir cómo es el mundo y el porqué de las cosas.

Las corrientes predominantes en la Filosofía Natural eran dos, una que era legado de Aristóteles y otra que era legado de René Descartes. El legado de Aristóteles predominaba en las currículas

universitarias, sin embargo, Descartes era el filósofo que ejercía mayor influencia sobre los personajes más importantes de la época. Descartes también fue el filósofo que ejerció mayor influencia en Newton.

El primer acercamiento que tuvo Newton con la Filosofía Natural fue durante su segundo año de estudios en el Trinity College (1662). El texto más popular, en Filosofía Natural, era el *Physiologiae Peripateticae Libri Sex Cum Commentariis* de Johannes Magirus, mismo que fue prescrito por el tutor de Newton para que se iniciara en el tema. De acuerdo con este texto, la filosofía natural es la ciencia de los cuerpos naturales, esto es, de las causas del cambio real y del reposo en el mundo natural. Esas causas o principios (*principia*) constituyen "la naturaleza", y sus constituyentes son activos o pasivos. Los primeros son aquellos de los cuales se pueden deducir todos los cambios o acciones (por ejemplo el motor inmóvil, tendencias naturales, etcétera). Por principio pasivo se entiende a la materia, ya que ésta es el lugar donde se encuentran las capacidades naturales de retener los cambios. En otras palabras, la filosofía natural versa acerca de las propiedades de la materia y con sus capacidades naturales de actuar y de ser objeto de acciones. Una descripción de Filosofía Natural, muy parecida a la anterior, se encuentra en los manuscritos de Newton de la época.⁵

⁵ Olby, R.C. *Companion to the History of Modern Science* p. 245.

En el siglo XVII, la *Filosofía Natural* tiene elementos teológicos muy fuertes; así, se ha llegado a sugerir⁶ que el estudio de la *Filosofía Natural* era la relación existente entre Dios y el mundo, o era estudiar a Dios a través del mundo. Tal aseveración no es totalmente exacta debido a la existencia de una corriente, en la *Filosofía Natural*, legado de Aristóteles que no aceptaría tales presupuestos ontológicos. Pero la corriente influenciada por el pensamiento cartesiano si puede aceptar tal definición. La corriente cartesiana es una amalgama de la física aristotélica, libre de presupuestos religiosos, con la teología Judeo-Cristiana. Es ahí, donde surge esta plausible definición de *Filosofía Natural*. Para Newton, el objeto de estudio de la *Filosofía Natural* está más vinculado al cartesianismo que al aristotelianismo. De lo cual, para él, el objeto de estudio de la *Filosofía Natural* son las manifestaciones de Dios en el mundo (ver 2.9).

La definición de "*Filosofía Natural*" no cambió mucho durante la vida de Newton. Por ejemplo, los diccionarios de principios del siglo XVIII definen a esta disciplina como la ciencia de los cuerpos naturales, de sus poderes, de su naturaleza, operaciones e interacciones.⁷

También el tipo de tópicos que encerraba la filosofía natural no sufrió ningún cambio. El libro *Physiologiae Peripateticae* trata

⁶ Por ejemplo en Cunninham, A. *How the Principia got its name se sostiene esta postura.*

⁷ Olby, *Ibíd.*

de los principios de las cosas naturales, los lugares, el vacío, el movimiento, el tiempo, lo infinito, los planetas, las estrellas fijas, los eclipses del Sol y de la Luna, los elementos primarios y secundarios, las cualidades ocultas,⁸ los cuerpos heterogéneos, meteoros y cometas, mareas, vientos, el movimiento de la Tierra, los metales, las plantas, los minerales, los espíritus, los animales, el hombre, la embriología, la zoología, el alma, los sentidos, los sueños, el intelecto y la voluntad. Y todavía a principios del siglo XVIII existen, de uso común, tratados de Filosofía Natural con temarios similares.⁹ Newton también escribió acerca de casi todos los tópicos antes mencionados, solamente que con distintos grados de dedicación y profundidad.¹⁰

Los estudios autodidactas de Newton lo llevaron a conocer otras posturas, dentro de la Filosofía Natural, distintas a la aristotélica. Así, se sabe que leyó a Pierre Gassendi, Thomas Hobbes, Robert Boyle, Robert Hooke, Galileo Galilei y Henry More.

Entre los aspectos más importantes, concernientes a las influencias de otros pensadores en Newton, cabe señalar el atomismo

⁸ Cualidades ocultas, para Aristóteles y los peripatéticos, eran aquellas causas responsables de algunos efectos que no pueden ser observables. Por ejemplo, la causa de que los cuerpos estén calientes es una cualidad oculta ya que nosotros no podemos percibirla con nuestros sentidos, lo que nosotros percibimos es sólo su efecto.

⁹ *Ibíd.*

¹⁰ Newton aborda, en muchos lugares, temas de fisiología, teoría de la percepción, los sentidos, y demás temas de Filosofía Natural, no de manera específica en un libro, sino a lo largo de todos los que escribió y en alguno que otro manuscrito. Los lugares clásicos donde se encuentran estas referencias son las *Querías* en la *Óptica* y los *Escolios* de los *Principia*.

de Gassendi. Newton se convierte rápidamente en atomista y expone su postura en un tratado titulado *De aere et aethere* (1673), donde dice que

deben tener, la naturaleza de los cuerpos, no solamente un núcleo impenetrable sino también una esfera delgada que lo rodea de un líquido de materia de mayor fluidez, que admite a otros cuerpos en ella, con dificultad.¹¹

Pero, como ya se dijo, el autor que más influencia ejerció sobre el joven Newton fue Descartes.¹² A la corriente filosófica que pertenece Descartes se le conoce con el nombre de "mecanicismo". La filosofía mecanicista nace como una necesidad intelectual del siglo XVII, debido a que dejaron de satisfacer las explicaciones en términos aristotélicos, tales como las causas y las cualidades ocultas.¹³

La filosofía mecanicista proponía la explicación de los fenómenos en términos de materia y movimiento, y sus explicaciones deberían de contener las causas explícitas de los fenómenos,¹⁴ las explicaciones sólo descriptivas de los fenómenos eran consideradas

¹¹ Newton, apud Hall: *Unpublish Scientific Papers of Isaac Newton* p. 221-224.

¹² Por ejemplo su tratamiento geométrico de los problemas, el dedicarle todo un libro de los *Principia* (el segundo) a la mecánica de fluidos. De su filosofía, Newton no hereda mucho, pero en sus escritos y tratados se puede ver que está respondiendo a preguntas cartesianas así como contraargumentando a posturas cartesianas.

¹³ No abundaré mucho en el tema ya que se desvía del objetivo de este trabajo pero se puede consultar en Olby *op cit.*

¹⁴ Muchas de estas explicaciones trataban de trazar los mecanismos mecánicos del mundo, debido al gran impacto social de las primeras máquinas con mecanismos mecánicos principalmente el reloj.

como explicaciones en términos de causas ocultas, fútiles. Así, en el siglo XVII, según esta concepción, tener conocimiento sobre los poderes y operaciones de las cosas significaba obtener las causas del cambio natural.¹⁵

Los distintos tópicos en que versaba la Filosofía Natural, tomaban distintos carismas dependiendo de los pensadores de la época. También variaban los objetivos de la Filosofía Natural así como la concepción que cada investigador tenía de ella. Por ejemplo, Roberto Hooke consideraba que todo, en la Filosofía Natural, debería de ser considerado como meras hipótesis, y que no había manera de seleccionar a una mejor que otra. También Hooke creía que el único tipo de justificación válida era por medio de refutar las hipótesis contrarias. Newton se enfrentará a esta posición, pero el tema será tratado en el apartado 2.6.

Debido a esta diversidad de opiniones, en la Filosofía Natural, no existían pautas imperantes acerca de los objetivos y métodos en la investigación de la naturaleza.

En esta combinación de filosofía peripatética y filosofía mecanicista es donde Newton crece intelectualmente. Newton se enfrentará con ambas en distintos tiempos de su vida, con la peripatética cuando es escolar y con la mecanicista en su madurez intelectual, permaneciendo, siempre, con un elemento de análisis y crítica constante hacia cada una. Ahora veamos más de cerca algunos aspectos relevantes de la personalidad intelectual de Newton.

¹⁵ Por ejemplo, la explicación de cualquier movimiento siempre debería de estar dada en términos de la acción "mecánica" de un cuerpo externo sobre otro.

1.3 Newton: principales influencias y religión.

Históricamente, Newton es el denominador común de dos corrientes importantes y fructíferas en el desarrollo de la ciencia precedente: el empírico y experimental, por un lado y el deductivo y matemático, por el otro. Esta combinación es esencial en la forma de abordar los problemas por Newton, ya que las pautas metodológicas que nos ofrecerá, a lo largo de su obra, están en tensión constante entre estos dos puntos de vista de analizar a la naturaleza (tensión que se hará ver en 2.3 y 2.4).

Newton, al convertirse en Filósofo Natural, abordó muchos problemas de distintas áreas del conocimiento de su época. Conocido de sobra es su trabajo concerniente a la física y las matemáticas, pero casi desapercibido es su trabajo en alquimia y en teología. La alquimia fue un tema de estudio muy importante para Newton ya que forma parte de esa aproximación al mundo del que trata la Filosofía Natural.¹⁶ Desafortunadamente, de las aproximadamente 1,200,000 palabras que se calcula Newton escribió sobre el tema, no se han impreso en español ninguna y en inglés no pasan de dos o tres libros; por lo que no obstante que la alquimia es muy importante, el presente trabajo se encuentra fuertemente truncado en este aspecto ya que no se encuentran fuentes disponibles.

Otro tema que también es muy importante es la teología. Se calcula que Newton escribió cerca de 1,400,000 palabras sobre el

¹⁶ La alquimia no dejó de formar parte de la Filosofía Natural sino hasta dos generaciones después de Newton.

tema. De toda la información que Newton escribió se tiene acceso a una parte menor, un libro en español (*El Templo de Salomón*) y varios manuscritos, o partes, publicados en otras fuentes secundarias. El Dios newtoniano es tan importante en su proyecto de investigación y desciframiento de la naturaleza, que bien vale la pena detenernos un poco para hablar sobre qué entiende Newton por Dios.

En los *Principia*, Newton define a Dios como un Pantocreador o un Regidor Universal, Dios tiene un dominio, Dios es el Señor y nosotros lo adoramos y lo veneramos; no como niños que confían, sino como sirvientes que se subyugan.¹⁷ En el Escolio General de la obra antes mencionada, Newton dice:

Este Ser domina todas las cosas, no como el alma del mundo, sino como el señor de todo, y por razón de su dominio es propio que se le llame <<señor Dios>>, *παντοκράτωρ* o *Gobernador Universal*, pues Dios es un término relativo que hace referencia a los siervos. La *Deidad* es el dominio de Dios, no solo su propio cuerpo, como imaginan aquellos que suponen que Dios es el alma del mundo, sino sobre los siervos. El Dios Supremo es un Ser eterno, infinito, absolutamente perfecto; mas, por perfecto que sea, un ser sin dominio no se puede decir que sea el Señor Dios, pues decimos mi Dios, tu Dios, el Dios de Israel, el Dios de Dioses, el Señor de los Señores, más no decimos mi Infinito o mi Perfecto, pues se trata de títulos que no tienen relación con sirvientes. La palabra Dios significa usualmente Señor, mas no todo Señor es un Dios. El dominio de un ser espiritual es lo que constituye un Dios; un dominio verdadero, supremo o imaginario constituye un Dios verdadero, Supremo o imaginario. Y de este verdadero dominio se sigue que el verdadero Dios es un Ser viviente, inteligente y poderoso y, de sus otras perfecciones que es supremo y perfectísimo. Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente; esto es, su duración alcanza de eternidad a eternidad, su presencia de infinitud a infinitud, gobierna todas las cosas y sabe todas las cosas que se hacen o se pueden hacer.¹⁸

¹⁷ Tal punto de vista fue sostenido por Newton desde la época de estudios primarios hasta su muerte, Westfall, *Never at rest*; p. 14.

¹⁸ *Principia*, Escolio General.

Claramente, el Dios newtoniano no está por encima del tiempo y del espacio: su eternidad es duración sempiterna, su omnipresencia es extensión infinita. Siendo esto así, queda claro cuando Newton insiste: "Él no es eternidad e infinitud, sino eterno e infinito no es duración o espacio, sino que dura y está presente."¹⁹ Y con todo no sólo "dura por siempre y está presente en todas partes", sino que "al existir siempre y en todas partes constituye la duración y el espacio."

Relacionado con su religión, se sabe que Newton no asistía frecuentemente a la iglesia; Humphrey Newton, su amanuense de los 1680's, notó que Newton "muy de vez en cuando iba a la capilla." Su falta de asiduidad a la iglesia se debió a su creencia en el arrianismo. Newton también se convierte al arrianismo a muy temprana edad ya que en un manuscrito de la colección Yahuda nos dice:

Nosotros tenemos prohibido adorar a dos Dioses y nos está permitido adorar sólo a un Dios y un Señor: un Dios que cree todas las cosas y un Señor para redimirnos con su sangre. No debemos hacer oración a dos Dioses sino que nosotros debemos hacer oración a un Dios en el nombre de un Señor.²⁰

Y si nosotros le ofrecemos "al hijo toda la adoración que se le debe dar al padre nosotros haríamos dos creadores y seríamos culpables de politeísmo." Cristo puede ser honrado y bendecido como "el Cordero de Dios"; él surgió de la muerte y ascendió a los cielos, él es "digno de ser la mano derecha de Dios." Pero, en

¹⁹ *Ibíd.*

²⁰ Newton apud D. Gjertsen, *The Newton Handbook* p. 233.

ningún lugar, agrega que Cristo sea un creador, y consecuentemente el no puede ser, con Dios, "el primer autor de todas las cosas por el divino poder de su voluntad." Finalmente, en los *Principia*, también se lee que Dios es uno y no trino:

Dios es uno y el mismo siempre y en todo lugar. Es omnipotente no sólo virtualmente sino sustancialmente: pues lo virtual no puede subsistir sin la sustancia. En él se hallan contenidas y se mueven todas las cosas pero sin mutua interferencia. Dios nada sufre por el movimiento de los cuerpos: éstos no experimentan resistencia alguna por la omnipresencia de dios. Está reconocido que un dios sumo existe necesariamente y con la misma necesidad existe siempre y en todo lugar. De donde también es todo él semejante a sí mismo, todo ojo, todo oído, todo cerebro, todo brazo, todo fuerza de sentir, todo entender, de actuar, pero en modo alguno a la manera humana, o a la manera corporal, sino de una manera totalmente desconocida para nosotros. Como el ciego no tiene idea de los colores, de igual modo nosotros no tenemos idea de los modos con los que Dios sapientísimo siente y entiende todas las cosas. Absolutamente desprovisto de todo cuerpo y figura corporal, no puede por ello ser visto ni oído ni tocado, ni debe ser venerado bajo forma de cosa corpórea alguna.²¹

Así pues, "en él vivimos, nos movemos y somos" no metafóricamente o metafísicamente, como pretendía San Pablo,²² sino en el sentido más propio y literal de las palabras.

Nosotros, es decir, el mundo, estamos en Dios, en el espacio de Dios y en el tiempo de Dios. Precisamente debido a ésta copresencia oblicua y sempiterna con las cosas, Dios es capaz de ejercer su dominio sobre ellas. Y es este dominio o, más exactamente, el efecto de este dominio, el que nos revela su esencia, que de otro modo sería incognoscible e incomprensible:

Lo conocemos tan sólo por su sapientísimo y excelente designio de las cosas y las causas finales; lo admiramos por sus perfecciones; mas lo reverencia-

²¹ Newton: *Principia*; Libro III. pp.783-784.

²² "... en Él vivimos, en Él nos movemos y en Él existimos ..." San Pablo, Hechos de los Apóstoles 17:28.

mos y adoramos por su dominio, pues lo adoramos en cuanto servidores suyos; además, un Dios sin dominio, providencia y causas finales no es sino Hado y Naturaleza. La ciega necesidad metafísica, que ciertamente es siempre la misma en todas partes, no hubiera podido producir la diversidad de las cosas. Toda esa diversidad de cosas naturales que hallamos adaptadas a distintos tiempos y lugares no hubiera podido surgir de la nada, sino que habría de derivarse de las ideas y voluntad de un Ser necesariamente existente. Pero como de manera alegórica, dicese que Dios ve, habla, ríe, ama, odia, desea, da, recibe, se alegra, se enfurece, lucha, trama, labora, construye, pues todas nuestras nociones acerca de Dios se toman de los usos humanos por una cierta semejanza que, aunque no sea perfecta, con todo posee cierta verosimilitud. Todo esto por lo que respecta a Dios, pues ciertamente compete a la Filosofía Natural tratar acerca de él a partir de las apariencias de las cosas."²³

El Dios de Newton no es solamente un Dios "filosófico", la impersonal causa primera de los aristotélicos o, en la interpretación de Newton, el Dios indiferente y ausente del mundo de Descartes. El Dios newtoniano es el Dios bíblico, el Dueño y Dominante del mundo creado por él, y personaje activo en los acontecimientos del mundo.

Como hemos dicho, Newton se desarrolla en un ambiente muy propicio a las críticas del estado de la Filosofía Natural imperante, y esto trae como consecuencia que, desde sus primeras investigaciones, se encuentre buscando problemas y objeciones a la manera de hacer ciencia de sus antecesores. En esta crítica constante de las metodologías anteriores, Newton nos ofrece un panorama de lo que él entiende por Filosofía Natural y de cómo se deben emprender las hoy llamadas empresas científicas.

En el siguiente capítulo veremos en detalle la manera en que Newton concibe a la metodología, analizando las partes que la

²³ Newton, *Ibíd.*

integra, y la manera en que se relacionan sus partes entre sí y con el contexto histórico.

II. CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO NEWTONIANO

2.1 Introducción

En este capítulo se estudiará las partes que conforman a la metodología newtoniana. Se tomará en consideración el papel del empirismo newtoniano, la "deducción de los fenómenos", el "análisis" y "síntesis", las "Reglas para filosofar", las hipótesis, Los *Experimentum crucis*, las leyes y las matemáticas, y por último la teleología.

Se establecerá lo que Newton entiende por fenómeno (2.2) para estudiar cuales son los mecanismos con los que se obtienen (2.2 - 2.7) las leyes matemáticas (2.8) a partir de ellos, y el objetivo de toda la Filosofía Natural (2.9).

Se observa que Newton tiene, en sus numerosos manuscritos y libros, varias pautas acerca de cómo llevar a cabo, con éxito, una actividad de tipo científico.²⁴ Empecemos definiendo cuál es la actividad de la ciencia, a criterio de Newton. Para Newton, toda la dificultad de la ciencia se resume de la siguiente manera:

... toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos de movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza y después desde estas fuerzas demos el resto de los fenómenos.²⁵

²⁴ Query 29 y 31 de la *Óptica*, Reglas para filosofar y Escolio general en los *Principia* y diversas cartas a Oldenburg. Aquí voy a usar ciencia, científico, etc. como el símil de filosofía natural del siglo XVII.

²⁵ Newton: *Principia* prefacio del autor; Libro I p. 98.

Apuntando en este tema, Newton, en una carta dirigida al Padre francés Ignace Gaston Pardies, advierte que:

... el mejor y más seguro camino de la filosofía parece ser, primero preguntarse diligentemente sobre las propiedades de las cosas y establecer esas propiedades por medio de los experimentos, y después proceder más despacio hacia las hipótesis que lo expliquen.²⁶

De donde se desprende que, para Newton, la actividad inquisitiva sobre la naturaleza debe empezar desde los "fenómenos", y ésta debe ser preguntarnos, diligentemente, por "las propiedades de las cosas." Estudiemos más a fondo este aspecto empírico donde Newton dice que debe empezar la actividad científica.

2.2 El aspecto empírico

De la historia de la ciencia se obtienen ejemplos de filósofos naturales, en el siglo XVII, que creían en la existencia de estructuras o entes a priori en la investigación científica.²⁷ Analicemos la teoría newtoniana de la percepción para ver si en ella encontramos estructuras semejantes.

Newton creía que los cuerpos externos causaban movimientos en nuestros órganos de los sentidos, los cuales eran transmitidos por los nervios al cerebro, dando como resultado una imagen que era "vista" por la mente. Ésta postura la encontramos desde sus primeros escritos, donde se pregunta:

²⁶ Citado en Cohen I. B. y Westfall R.S. (Ed.): Newton p. 113.

²⁷ Por ejemplo, Descartes.

Del espíritu

Pre. 1 ¿Por qué los objetos no parecen invertidos?, Resp: La mente o el espíritu no puede juzgar que las imágenes en el cerebro estén invertidas a menos que percibiera las cosas externas --con las cuales podría comparar las imágenes

2. ¿Por qué [los objetos] se muestran fuera de nuestro cuerpo? --Resp: Porque la imagen de las cosas, delineada en el cerebro por la vista, se coloca en medio de las imágenes de otras cosas, y se mueve hacia, o desde, a partir de esas otras imágenes, etc:

3. Pero ¿Por qué no se piensa que esos objetos están en el cerebro? Resp: Porque la imagen del cerebro no es proyectada ahí, ni tampoco de esta manera el espíritu percibe a la mente sin que esté ésta en movimiento, y probablemente el espíritu no perciba ningún cuerpo sin la ayuda del movimiento. Pero dondequiera que la mente perciba, junto con esas imágenes que tiene ella, nosotros debemos de pensar que vemos esas imágenes como la mente nos la presenta y así comprendernos a nosotros mismos, comprender las estrellas y los otros objetos visibles.²⁸

Estas ideas sobre la percepción las continúa sosteniendo en su madurez; en la Query 28 de la *Óptica*, Newton dice:

¿No es el sensorio de los animales el lugar en que está presente la sustancia sensitiva y a donde son llevadas las formas sensibles de las cosas a través de los medios y el cerebro, a fin de que sean allí percibidas por su presencia inmediata en dicha sustancia? Habiendo despachado estas cosas correctamente, ¿no se sigue de los fenómenos que hay un ser incorpóreo, viviente, inteligente, omnipresente que ve íntimamente las cosas mismas en el espacio infinito, como si fuera en su sensorio, percibiéndolas plenamente y comprendiéndolas totalmente por su presencia inmediata ante él? Lo que en nosotros percibe y siente, sin embargo, sólo ve y contempla las imágenes de esas cosas que son transportadas por los órganos de los sentidos hasta nuestros pequeños sensorios.²⁹

La teoría que aparece en la *Óptica* es más compleja, pero sustancialmente la misma. Se le ha dado el nombre de "Sensorio" a aquel lugar, "en la cabeza", donde nosotros vemos las imágenes producidas por el cerebro, pero esto también constituye un tipo de espacio interno en nuestras percepciones.

²⁸ Newton, "Quaestiones," fol.130v citado en Tamny, Martin: *Newton, Creation, and Perception*, p. 55.

²⁹ Newton: *Óptica*; p. 320.

De lo anterior se concluye que, para Newton, nuestro cerebro es una tábula rasa donde se imprimen las percepciones de las cosas. Estas percepciones son como "cuadros" o "fotos" de los objetos externos. Cuando consideramos esos "cuadros" como representaciones de los objetos externos, proyectamos esos objetos y sus relaciones como si estuvieran fuera de nosotros y la única manera de darnos cuenta de esa proyección es mediante la reflexión teórica sobre la percepción. Esta idea de la mente como tabla rasa será una idea dominante en el empirismo de los siglos XVIII y gran parte del XIX, principalmente en los filósofos Locke, Hume, Reid, etc.

De lo que, para Newton, no había ninguna certeza ni estructura a priori.³⁰ El núcleo del tipo de empirismo de Newton estriba en que para él el mundo es lo que es, y se presenta ante nosotros de manera igual para todos.

Pero regresando a nuestro problema inicial, Newton tiene la preocupación empirista de dar cuenta de los fenómenos de la naturaleza desde principios que sean descubiertos en ella.³¹ Su empirismo es tal, que él hace una diferencia entre verdades matemáticas y verdades físicas: "Por lo demás, que la resistencia

³⁰ Entendido a priori en Newton como dado antes de cualquier experiencia, como una herramienta con la que se enfrenta al mundo.

³¹ Para reafirmar este punto notemos que Newton manifiesta que su interés es comprender los hechos sensibles. Newton: *Óptica*; pp. 305, 315 ff, e insiste muchas veces que lo que quiere explicar son los fenómenos observables. Newton *Óptica* Query 28, Query 31; *Principia* Prefacio p. 174.

de los cuerpos está en razón de la velocidad es más una hipótesis matemática que una física".³²

Los problemas de la naturaleza, para Newton, son imposibles de resolver *a priori*, mediante la mera reflexión sobre supuestos principios matemáticos fundamentales, aceptados como la estructura del mundo. Es más, muchas veces las estructuras que se presuponen en el mundo conducen a encrucijadas que deben ser resueltas por medio de la experimentación, no por el razonamiento.³³ Las matemáticas deberían de moldearse continuamente por la experiencia. Aunque él haga largas deducciones abstractas desde sus principios matemáticos, nunca se va a comprometer sobre la certeza de estos razonamientos, por el mero hecho de ser deductivos, hasta que no sean verificadas totalmente por la experiencia. Continuamente³⁴ está llamando a la verificación experimental, aún en los problemas

³² Newton: *Principia*; p. 424. También existe un pasaje similar en las investigaciones sobre los fluidos donde dice que: "Del mismo modo, si unas partículas repelen a otras partículas de su especie que están próximas, mientras que no ejercen fuerza alguna sobre otras partículas mas lejanas, es de partículas de este género de las que se componen los fluidos sobre los que se ha tratado en esta proposición. Porque si la fuerza de una partícula cualquiera se propagase hasta el infinito, se necesitaría una fuerza mayor para alcanzar una condensación igual de una mayor cantidad de fluido. Pero es una cuestión física la de si los fluidos elásticos constan de partículas que se repelen mutuamente. Por nuestra parte hemos demostrado matemáticamente la propiedad de los fluidos compuestos de tales partículas, para dar a los filósofos un asidero al tratar esta cuestión." *Ibíd* p. 497.

³³ Ver 2.6.

³⁴ *Óptica*, Query 28, 30 y 31. *Principia*, Escolio General y Prefacio, etc.

donde sus respuestas están en la definición de términos, como es el caso de la proporcionalidad de la resistencia a la densidad.³⁵

Para Newton, la manera de plantear, analizar y resolver los problemas propuestos por la experiencia, es mediante los métodos de la matemática,³⁶ sin embargo, él estaba muy poco interesado en los razonamientos matemáticos que no estuvieran vinculados con resolver directamente algún problema físico; las matemáticas eran una herramienta muy útil para dar cuenta de los fenómenos físicos. Esto está explicitado claramente en su prefacio a los *Principia*:

Habiendo los antiguos, en la investigación de la naturaleza, practicado sobre todo la *Mecánica* ..., y como los más modernos, desechadas ya las formas sustanciales y las cualidades ocultas, hubiesen intentado reducir los fenómenos de la naturaleza a leyes matemáticas, nos parece oportuno tratar en esta obra la parte matemática que se relaciona con la *filosofía*. Los antiguos establecieron dos mecánicas: la racional, que procede por demostraciones exactas, y la práctica.³⁷

Newton observa que lo perfectamente preciso tiene que ser llamado geométrico, lo que es menos preciso es mecánico. Pero ésta distinción no nos debe hacer olvidar que en la práctica mecánica las dos aparecen como una sola ciencia, de forma tal

... que trazar rectas y círculos es cuestión problemática pero no geométrica. Desde la *Mecánica* se postula su solución, mientras en *Geometría* se enseña el uso de las soluciones. Y bien puede gloriarse la *Geometría* de que de tan pocos principios postulados de otro sitio logre tan grandes resultados. Se funda, pues, la *Geometría* en la práctica mecánica y propone

³⁵ Newton define masa en términos de la densidad y también, en otro lugar, la define en términos de la resistencia, de lo que la resistencia, por pura definición, es proporcional a la densidad. *Óptica* p. 340.

³⁶ ver 2.8.

³⁷ Newton: *Principia*; p. 98.

y demuestra con exactitud el arte de medir. Mas, como las artes manuales se cifran ante todo en mover los cuerpos, ocurre que comúnmente se asocie la Geometría con la magnitud y la Mecánica con el movimiento. 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.³⁸

Aquí hay una tensión entre la parte empírica y la práctica; la geometría es parte de una mecánica universal; ésta y las otras partes de la mecánica, juntas, hacen una sola ciencia de los movimientos de los cuerpos, y esta ciencia se desarrolla gracias a las necesidades prácticas.

Esbozando las ideas empiristas de Newton, se tiene que de las necesidades planteadas por la experiencia, de las cuales se quiere dar cuenta, por medio de experimentos se buscan las características con las que se les va a tratar,³⁹ y una vez que se obtienen algunos resultados, nuestras conclusiones deberán ser verificadas realizando otros experimentos.

Newton dirá que la manera de obtener un resultado empírico es "deducirlo de los fenómenos." Como esta noción es asaz importante la analizaremos en el siguiente apartado.

2.3 Dedución de los fenómenos

Para entender la noción de "deducción de los fenómenos" debemos empezar analizando la noción de fenómeno en Newton. Pero esto representa un problema bastante complejo, ya que en los *Principia*

³⁸ *Ibíd.*

³⁹ Este tratamiento es mediante las matemáticas, Cf. 2.8.

a algunas de las cosas que él llama "hipótesis", en la primera edición, en las ediciones subsecuentes las denomina "fenómenos". Sin embargo, analizaré una definición de fenómeno, no publicada, que estaba destinada a aparecer en la segunda edición de los *Principia*. Ahí se afirma que un fenómeno es:

... cualquier cosa que pueda ser vista y es percibida, cualquier cosa que pueda ser percibida, ya sean cosas externas que se conocen por medio de los cinco sentidos, o cosas internas las cuales contemplamos en nuestras mentes mediante el pensamiento. Así, como el fuego es caliente y el agua húmeda, y el oro pesado, y el sol luminoso, yo soy y yo pienso. Todos estas cosas son sensibles y pueden ser llamados fenómenos en un sentido muy amplio, y yo entiendo al mundo en un sentido muy amplio.⁴⁰

Para Newton, fenómeno no sólo será aquello que se observa directamente en la naturaleza, sino que también será aquello que se puede inferir directamente de ella, y aunque en sus trabajos los fenómenos se manejen como si su existencia se pudiera establecer por la mera observación, la definición anterior de fenómeno, por el tipo de objetos que se estudian en los *Principia*, es necesaria.⁴¹

Los fenómenos que no son percibidos con los sentidos, se sostienen, como tales, en tanto hayan sido inferidos a partir de lo observado. Lo observado y las inferencias a partir de ello, no pueden admitir ningún tipo de controversias; según Newton, como ya vimos, la experiencia es una plataforma común para todos los hombres.

⁴⁰ Newton, apud G. Guillaumin, p. 43.

⁴¹ Por ejemplo, nadie ha observado que los planetas recorran sus órbitas alrededor del Sol, como lo establece el fenómeno III del libro III de los *Principia*.

Ahora, la noción de "deducción de los fenómenos", implica extraer, obtener, o sacar inferencias a partir de lo observable.⁴² Newton no desea que se piense que él está especulando sin una base empírica. Éste es el vínculo fuerte del empirismo con la noción de deducción de los fenómenos, ya que ninguna aseveración acerca del mundo va a estar desligada de algún fenómeno (usando la definición de fenómeno antes referida).

Hay un segundo sentido de "deducción de los fenómenos" al que Newton apela constantemente, el cual está muy emparentado con la deducción que se hace en matemáticas, especialmente en la geometría de Euclides. En tales sistemas, si uno sigue correctamente las reglas de deducción y hace uso debido de los axiomas, entonces erige un tipo de conocimiento puramente deductivo, indubitable e infalible. Así, Newton no sólo quiere establecer conclusiones empíricas a partir de lo observable sino que también quiere obtener conocimiento seguro. Este sentido de deducción de los fenómenos es más fuerte, ya que presupone la existencia de una estructura formal en el mundo.

Por otra parte, Newton, en otros textos, se refiere al proceso de deducción de los fenómenos como un proceso inductivo. En efecto, en una carta a Cotes, escribe que "... la filosofía experimental procede solamente de los fenómenos y deduce proposiciones generales de ellas solamente por inducción," pero este tipo de generalizaciones se estudiarán en el apartado 2.4.

⁴² Solis: *La filosofía de la ciencia de Newton*, p. 328.

De lo que la noción de "deducción de los fenómenos" es esencial en Newton, ya que siempre le permite obtener conocimiento indubitable e infalible sin perder ningún referente con el mundo.

Ahora analicemos un par de conceptos relacionados con la deducción de los fenómenos, que constituye, junto con ella, el corazón metodológico de la investigación científica newtoniana, el análisis y la síntesis.

2.4 El análisis y la síntesis

La esencia metodológica de la investigación, en Newton, se encuentra en la herramienta que le permite discernir las características de las cosas; el análisis y la síntesis (o resolución y composición).

El método del análisis y síntesis tiene sus raíces en los matemáticos griegos. Para ellos, el análisis consistía en usar lo dado con lo que debería ser, usando lo conocido, para hacer deducciones lógicas. El procedimiento duraba hasta que se llegara a enunciados que fuesen posibles de deducir usando solamente lo dado y lo conocido. Después la síntesis empieza haciendo todas las construcciones auxiliares necesarias para mostrar que cada paso es posible.

Con la escolástica el método del análisis y síntesis adquiere otros usos. Por ejemplo, Gassendi decía que el método del análisis y síntesis te ayudaba a demostrar enunciados del tipo "el hombre es una substancia". Ya que si se empieza por "hombre", lo particular,

y se analiza lo suficiente se llega a que es una "substancia", y si se empieza por "substancia", lo más general, por medio de la síntesis, agregando algunas características ("tiene masa", "piensa", etc.) se llega a "hombre".

Newton ofrece su versión de la teoría del análisis y síntesis al final del Libro III de la *Óptica* vinculándola con la inducción. En la Query 31, de esta obra, se enuncia:

Como en las matemáticas, en la filosofía natural, la investigación de las cosas difíciles por el medio de análisis ha de preceder siempre al método de composición. Este análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellos conclusiones generales por inducción y en no admitir otras objeciones en contra de esas conclusiones que aquellas salidas de los experimentos u otras verdades ciertas, pues las hipótesis no han de ser tenidas en cuenta en la filosofía experimental. Y, aunque los argumentos a partir de observaciones y experimentos por inducción no construya una demostración de las conclusiones generales con todo, es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas y ha de considerarse tanto más fuerte cuanto mas general sea la inducción⁴³

El análisis nos permite

pasar de los compuestos a sus ingredientes y de los movimientos a las fuerzas que los producen; en general, de los efectos a las causas y de estas causas particulares a las mas generales, hasta que el argumento termine en la más general.⁴⁴

Al comparar el método de análisis con el de síntesis o composición, se tiene que:

⁴³ Newton: *Óptica*; Query 31, pp. 325-350.

⁴⁴ *Ibíd.*

El de la síntesis, por su parte, consiste en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios y en explicar con ellos los fenómenos, procediendo a partir de ellas y demostrando las explicaciones⁴⁵

La descripción anterior del análisis y síntesis, deja ver que los dos son parte de la filosofía experimental. El análisis tiene que ver con los experimentos, las observaciones y las generalizaciones por inducción, y trabaja de los efectos a las causas. Así, Newton nos dice que:

En los primeros dos libros de esta *Óptica*, procediendo por análisis descubrí y demostré las diferencias originales de los rayos de luz con respecto a la refrangibilidad, reflexibilidad, y color ...⁴⁶

El análisis no es sólo acumulación de los resultados de observaciones y experimentos, también requiere de otros elementos metodológicos que le permitan hacer generalizaciones que le den sentido a todo el caos aparente que se observa en la naturaleza. Cuando se trata de problemas en donde la experimentación no sea posible, como en los movimientos planetarios, el análisis se apoya cada vez menos en la observación, y más en idealizaciones matemáticas que se tendrán que confrontar con la experiencia en última instancia.

Como en el análisis geométrico, el análisis newtoniano esta siempre abierto a revisiones y opera en varias etapas: "Pero si en

⁴⁵ *Ibíd.*

⁴⁶ Newton: *Óptica*, p. 405.

cualquier momento alguna excepción ocurre en los experimentos se dirá que [la generalización] ocurre salvo en las excepciones."⁴⁷

De lo que el análisis permite ir de las características de las cosas a encontrar sus causas, hasta encontrar la causa más general y última.

La síntesis sigue al análisis y asume las causas como principios. Además, como da cuenta de los fenómenos que se deducen de ellos, comprueba la causa explicativa. Newton reclama que él ha dado una "instancia ... al final del primer libro" donde "estos descubrimientos una vez demostrados [por medio de experimentos], serán sometidos al método de composición [síntesis] para explicar los fenómenos que se deducen de ellos."⁴⁸ Un ejemplo es la proposición 8 del libro I que dice "Por las propiedades descubiertas de la luz se explicarán los colores hechos por los prismas."⁴⁹

Por lo que la síntesis va desde los principios a los fenómenos, y a la vez de dar cuenta de los fenómenos pone a prueba el alcance de las causas explicativas.

La descripción de Newton del análisis y la síntesis también se aplica a los *Principia*. Análisis, en este caso, se refiere a la simplificación e idealización matemática de la naturaleza, que procede a cualquier demostración matemática o síntesis.

Aunque el análisis se identifica usualmente con los descubrimientos y la síntesis con las demostraciones, Newton nos indica que

⁴⁷ Newton: *Óptica* p. 404.

⁴⁸ Newton: *Óptica* p. 405.

⁴⁹ Newton: *Óptica* p. 161.

el análisis y la síntesis, ambos, tienen que ver con el descubrimiento y con las demostraciones; un ejemplo de esto es el párrafo antes citado donde dice que él "descubrió y demostró ..." De igual manera, la síntesis descubre y demuestra, como se observa en un manuscrito no publicado, en el que se afirma que después de haber descubierto "de los fenómenos" la ley de la gravitación, él puede usarla como principio para predecir y descubrir nuevos fenómenos:

Yo deduzco de ésta todos los movimientos de los cuerpos celestes y los flujos y reflujos de las mareas, mostrando por medio de demostraciones matemáticas, que esta fuerza por sí sola es suficiente para producir todos estos fenómenos, y derivando de ella algunos nuevos movimientos que los astrónomos no han observado pero que nos parecen ser ciertos, como que Saturno y Júpiter se atraen entre sí, que las variaciones de la luna son mayores en invierno que en verano, que hay una ecuación de los movimientos promedio de la Luna con una precisión de cinco minutos, que depende de la posición de su apogeo con el sol.⁵⁰

Aunque la síntesis tiene algún papel en el descubrimiento, Newton la describe diciendo que consiste en explicar los fenómenos desde las causas y "probar las explicaciones."

Si son tomados por separado, pareciera que el análisis y la síntesis tienen papeles parecidos: cada una es descrita como un método de descubrimiento y prueba, pero más que ser equivalentes, son complementarios. El análisis requiere de la síntesis para completar las demostraciones y alcanzar conocimiento necesario. La síntesis no es solamente el reescribir el análisis. La síntesis demanda que esté presente el análisis. En la *Óptica*, Newton escribe que la síntesis "consiste en asumir las causas descubiertas, y establecerlas como principios, y por ellas explicar los fenómenos

⁵⁰ Newton, *apud* Birch, p. 267.

procediendo de ellos, y probando las demostraciones."⁵¹ Aunque la síntesis proceda de las causas y principios por deducción, su poder demostrativo emerge sólo con la ayuda del análisis. El poder del método conjunto nos asegura que los principios generales, deducidos de los fenómenos contingentes, expliquen lo que ocurre en la naturaleza. En las ciencias no experimentales, el método conjunto del análisis y síntesis evita que las idealizaciones matemáticas, que son la base de los *Principia*, sean meras ficciones. Newton así, está preocupado por no perder el referente empírico, aún en sus razonamientos matemáticos. Pero existe otro elemento metodológico que le permite a Newton, entre otras cosas, justificar sus generalizaciones; las Reglas para Filosofar.

2.5 *Regulae Philosophandi*

Las cuatro "Reglas para Filosofar," como están dadas al principio del libro III en la edición final de los *Principia* (1726), pareciera, en primera instancia, que tratan únicamente con los principios metodológicos de la explicación, y parecería, también, que ellas no contienen ninguna opinión sorprendente para la época o una opinión muy elaborada. Por ejemplo, si se examinan las Reglas I y II parecerían, *prima facie*, triviales. La regla I dice:

No deben admitirse más causas de las cosas naturales que aquellas que sean verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos.

⁵¹ Newton: *Óptica* p. 405.

Ya dicen los filósofos: la naturaleza nada hace en vano, y vano sería hacer mediante mucho lo que se puede hacer mediante poco. Pues la Naturaleza es simple y no derrocha en superfluas causas de las cosas.⁵²

Y la Regla II dice:

Por ello, en tanto que sea posible, hay que asignar las mismas causas a los efectos naturales del mismo género.

Como en el caso de la respiración en el hombre y en el animal; de la caída de las piedras en Europa y en América; de la luz en el fuego de la cocina y en el sol; de la reflexión de la luz en la tierra y en los planetas.⁵³

Estas dos reglas son claramente pautas metodológicas ya antes conocidas en la historia de la ciencia: la regla primera es la de simplicidad (navaja de Ockham) con conotaciones epistémicas y ontológicas, la segunda es una versión metodológica del principio de uniformidad en la naturaleza.⁵⁴

Sin embargo tales reglas tratan asuntos cruciales. Notemos que en la regla I Newton habla de "causas verdaderas" (*verae causae*). Newton quiere decir, entre otras cosas, que "causa verdadera" es una causa cuya existencia debe ser susceptible de corroborarse independientemente.⁵⁵ La expresión "causa verdadera" existe en Descartes pero no es el mismo concepto que en Newton. En Descartes las "causas verdaderas" se derivan de los primeros principios

⁵² Newton: *Principia*; p. 615.

⁵³ Newton; *Principia*; p. 616.

⁵⁴ Cfr. Blake R.M. "Sir Isaac Newton's Philosophy of Scientific Method," *Philosophical Review*, XLII (1933), 453-486 p.458 [reimpreso en Madden: *Theories of Scientific Method*].

⁵⁵ Blake, R.M. *Theories of Scientific Method*, p. 133.

metafísicos, mientras que en Newton la manera de obtenerlas es mediante la "deducción de los fenómenos". El tema también se trata en la *Óptica*. En la *Query* 31,⁵⁶ él dice emplear, en lugar de causas oscuras, "leyes generales de la naturaleza." Éstas son fórmulas descriptivas de ciertas relaciones discernibles entre los fenómenos, cuya "verdad se nos muestra por los fenómenos." Su diferencia con las causas ocultas estriba en que son "cualidades manifiestas, y solamente sus causas son ocultas." Ahora estas leyes también están caracterizadas como "principios activos ... de los cuales las cosas están formados," y por los cuales "estas partículas ... son movidas." De lo anterior se desprende que las "causas verdaderas" de los fenómenos son determinados principios o leyes (como la ley de la gravitación) que se descubren (por medio de la observación y experimentación) y operan en el mundo.⁵⁷

La noción de fenómeno se entrelaza con el de *vera causa* ya que si los fenómenos son inferidos de lo observado,⁵⁸ en el sentido que sostiene Newton, entonces tanto éstos como las causas verdaderas se consideran como no controversiales. Los fenómenos serían el resultado de observaciones de las cuales, en principio, los científicos estarían de acuerdo, y las causas verdaderas, los agentes responsables de que sucedan estos fenómenos que también gozarían del consenso general.

⁵⁶ Newton: *Óptica*; pp. 341 ff.

⁵⁷ En contraste con las meras cualidades o entidades hipotéticas cartesianas (como los vórtices).

⁵⁸ Ver 2.3.

La regla IV parece ser el principio metodológico que versa acerca de la aceptación y defensa de cualquier generalización establecida inductivamente. Ésta regla fue introducida en la segunda edición de los *Principia* en respuesta a las críticas de los cartesianos. Esta regla es una advertencia en contra de "fingir" hipótesis. La regla IV dice:

Las proposiciones obtenidas por inducción a partir de los fenómenos, pese a las hipótesis contrarias, han de ser tenidas, en filosofía experimental, por verdaderas exacta o muy aproximadamente, hasta que aparezcan otros fenómenos que las hagan o más exactas o expuestas a excepciones.

Debe hacerse esto para evitar que el argumento de inducción sea suprimido por las hipótesis.⁵⁹

De cualquier manera, cuando se considera esta regla, junto con la regla III, toma otro significado. En esta instancia, aceptando lo que ha sido derivado de considerar los fenómenos y rechazando lo que apenas es compatible con ellos, la regla IV constituye un suplemento a la regla III, la cual, como ahora veremos, establece la teoría newtoniana de las bases y correcto curso de todo razonamiento científico:

Regla III

Han de considerarse cualidades de todos los cuerpos aquellas que no pueden aumentar ni disminuir y que afectan a todos los cuerpos sobre los cuales es posible hacer experimentos.

Pues las cualidades de los cuerpos solo mediante experimentos se esclarecen, y por lo mismo se han de establecer como generales cuantas cuadran generalmente con los experimentos y aquellas que no pueden disminuir, tampoco pueden ser suprimidas. Ciertamente no hay que fantasear temerariamente sólo en contra de la seguridad de los experimentos, ni alejarse de la analogía de la naturaleza, toda vez que ella suele ser simple y congruente consigo misma. La extensión de los cuerpos no se nos revelan si no es por los sentidos, y no se sienten por todos, pero como concierne a todos los sensibles, se atribuye universalmente. Experimentamos que muchos cuerpos son duros. Pero la dureza del todo se origina de la dureza de las

⁵⁹ Newton: *Principia*; p. 618.

partes, y de aquí concluimos con razón que son duras las partículas indivisivas no sólo de los cuerpos que sentimos sino también las de todos los demás. Que todos los cuerpos son impenetrables lo inferimos no de la razón sino de la sensación. Los cuerpos que manejamos resultan ser impenetrables, y de aquí concluimos que la impenetrabilidad es una propiedad de todos los cuerpos. Inferimos que todos los cuerpos son móviles y preservan un reposo o en movimiento gracias a ciertas fuerzas (que llamamos fuerzas de inercia) a partir de estas propiedades de los cuerpos observados. La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la fuerza de inercia del todo surgen de la extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad y fuerza de inercia de las partes: y de ahí concluimos que todas las partes mínimas de todos los cuerpos son extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de fuerzas de inercia. Y este es el fundamento de toda la filosofía.⁶⁰

En la regla III, se plantea que todo razonamiento científico tiene sus bases en la experiencia sensible, que al razonar se debe buscar las cualidades universales de los fenómenos, y que cualquier cualidad que se perciba comúnmente en todos los fenómenos, debe adjudicarse a todos los objetos cualesquiera (donde se observen esos fenómenos); no importa si con ellos no se ha experimentado, o si es imposible que sean sujetos a experimentación. Esta regla recomienda hacer dos cosas, que muchas veces se piensan incompatibles: por un lado establece que todo conocimiento debe empezar en la experiencia sensible y debe de proceder formando generalizaciones basadas en los resultados que se repiten en la experiencia; y por otro lado, establece el uso legítimo de estas generalizaciones, no solamente cuando se trata de fenómenos confirmables en la experiencia, sino que también es correcto hacer generalizaciones sobre entidades no observables con las que no se puede experimentar.⁶¹

⁶⁰ Newton: *Principia*; p. 617.

⁶¹ En el manuscrito *De aere et aethere*, Newton nos ofrece una versión muy interesante de esta regla. En este lugar, Newton asegura que "La naturaleza es extremadamente simple y confortable a ella misma. Cualquier razonamiento que se cumpla para movimientos grandes, deberá cumplirse para movimientos pequeños también."

El párrafo final de la regla III, excluido en la cita anterior, explica implícitamente por qué Newton encontró necesario el formular esta regla; Newton quiere dar una justificación a la gravitación. La gravitación hay que aceptarla no sólo por su poder explicativo,⁶² sino porque esta fuerza actúa entre todos los componentes de las partículas de la materia.⁶³ El párrafo al que nos referimos dice:

finalmente, si mediante experimentos y observaciones astronómicas consta universalmente que todos los cuerpos alrededor de la Tierra gravitan hacia ella, esto según la cantidad de materia contenida en cada uno, que la Luna gravita hacia la Tierra según su cantidad de materia, y viceversa que nuestro mar gravita hacia la Luna, que todos los planetas gravitan mutuamente entre sí y que la gravedad de los cometas hacia el Sol es similar, habrá que decir, en virtud de esta regla, que todos los cuerpos gravitan entre sí. E incluso será más fuerte el argumento sobre la gravedad universal a partir de los fenómenos, que sobre la impenetrabilidad de los cuerpos: ya que de ésta no tenemos ninguna experiencia en los cuerpos celestes y tampoco observación alguna. Sin embargo no afirmo en absoluto que la gravedad sea esencial a los cuerpos. Por fuerza insita entiendo solamente la fuerza de

Hall: *Unpublish Scientific Papers*. p. 333. La inducción a partir de la experiencia sensible fue una innovación del siglo XVII, en contraste con Aristóteles y sus seguidores quienes no consideraban que se pudiera hacer inducción a partir de eventos particulares. La historia de la inducción se puede consultar Dear, P.: *Discipline & experience*, capítulo I.

⁶² Esto es porque explica el comportamiento de los fenómenos concernientes a las órbitas planetarias y el comportamiento de las mareas.

⁶³ Este punto de vista se ve también en el escolio general, aumentado en la segunda edición, donde se lee: "La gravitación hacia el sol se compone de la gravitación hacia muchas partículas de las cuales el Sol se compone." Esto está dicho justamente antes de su dictum "*hipothesis non fingo*." Este dictum se refiere al hecho de que él no estará imaginando ninguna alucinación para explicar la causa de la fuerza de gravitación dentro de los límites de los *Principia*, i.e. el no invocará a ninguna cualidad oculta, ni explicación mecánica, como los cartesianos, para las causas de esa fuerza, cuya operación se ha derivado de los fenómenos.

inercia. Esta es inmutable. La gravedad disminuye al alejarse de la Tierra.⁶⁴

Esta regla sostiene la validez de usar datos de la experiencia para hacer inferencias hacia otros fenómenos, con los cuales no solamente no se ha experimentado, sino que no se puede experimentar. Y estas inferencias serán válidas en tanto se asuma que los fenómenos, a los cuales se extrapola, son del mismo tipo que aquellos encontrados en la experiencia. Esta presuposición puede ser hecha legítimamente si nosotros estamos tratando con cualidades que se conservan en nuestra experiencia, sin excepciones. Este es un uso muy especial del principio de la uniformidad de la naturaleza ya que, en vez de usarlo exclusivamente para justificar oraciones como "dados los mismos efectos nosotros podemos justificar las mismas causas," se usa para justificar que "Las cualidades que están asociadas invariablemente con los objetos de la experiencia son también características de todos los objetos cualesquiera."

En la regla III también se encuentra un criterio para distinguir entre cualidades "primarias" y "secundarias." En la regla III las cualidades que se designan como no necesarias del éter⁶⁵ son extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad, e inercia. Pero estas cualidades son las que generalmente se incluían entre las cualidades primarias. Pues bien, si dentro del rango de

⁶⁴ *Ibíd.* p. 618.

⁶⁵ "intensificación ni la reemisión de grados, y las cuales se encuentra que no pertenecen a todos los cuerpos en nuestros experimentos," Newton, *Principia* *Ibíd.*

lo observable vemos que hay una propiedad primaria (o universal) que aumenta y disminuye, como la gravedad, no podemos decir que sea esencial, ya que por la disminución gradual puede llegar a desaparecer en el dominio de lo inobservable. Por eso Newton advertía a Bentley:

Habla usted a veces de la gravedad como esencial e inherente a la Materia. Le ruego que no me atribuya a mí esa idea, ya que no pretendo saber cuál sea la Causa de la Gravedad y, por tanto, llevaría más tiempo hablar acerca de ella.⁶⁶

Con respecto a la divisibilidad, Newton la discute en otro párrafo. Newton no desea establecer si la divisibilidad era una característica universal de la materia, ya que la experiencia no muestra que toda la materia sea divisible.⁶⁷ Este acercamiento cauteloso al problema de la divisibilidad se debe a las creencias de Newton en los átomos indivisibles, que encuentran una expresión en la *Óptica*, cuando dice:

Tras considerar todas estas cosas, me parece muy probable que Dios haya creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras

⁶⁶ Newton, *apud* Cohen y Westfall: Newton p. 330.

⁶⁷ Ya que nos dice: "Además, hemos visto por los fenómenos, que las partes divididas de los cuerpos y contiguas entre sí pueden separarse unas de otras y que las partes indivisas pueden dividirse con la razón en partes menores, es cierto por la matemática. En cambio, si esas partes distinguidas matemáticamente, pero no divididas todavía, pudieran dividirse y separarse unas de otras mediante fuerzas naturales, es cosa incierta. Pero aunque solamente constase, por un solo experimento, que una partícula indivisa sufriese una división al romper un cuerpo duro y sólido, concluiríamos, en virtud de esta regla, que no sólo serían separables las partes divididas, sino también que las indivisas podrían ser divididas hasta el infinito." Newton *Principia* *Ibíd.*

propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el que fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualesquiera cuerpos porosos formados a partir de ellas. Tan duras, incluso, como para no gastarse no romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo que el mismo Dios ha hecho uno en la primera creación.⁶⁸

Con respecto a cualidades, como el color, sabor, olor, y otras parecidas, es claro que la regla III no justificaría que nosotros se las asignásemos a los átomos, ya que muchos objetos no tienen sabor ni olor, y otros objetos, como el aire y el vidrio, no tienen color, por lo que las generalizaciones tienen, en esta regla, una restricción. Siempre es lícito generalizar algunas propiedades encontradas en miembros de una clase a todos los de la misma, salvo en aquellas cualidades de los fenómenos que no son susceptibles de incremento o disminución.

Para justificar qué de los fenómenos se pueden demostrar proposiciones teóricas generales, Newton atiende a la relación entre las reglas III y IV. También en la regla IV se encuentra una doble estrategia contra las hipótesis injustificadas;⁶⁹ una de carácter fundamentalista de la verdad, y que opera sobre todo en los *Principia*; y otra que permite ir al terreno de la deducción a partir de los fenómenos, para hablar acerca de la trama secreta de la naturaleza, capaz de explicar las cualidades manifiestas, como las de refracción o la gravedad. Mientras que la primera estrategia resultó asombrosamente rentable en los *Principia*, no funcionó

⁶⁸ *Óptica Query* 31 p. 325. De lo que queda implícito un rechazo a la filosofía corpuscular cartesiana en favor de su atomismo, el cual ya tratamos en I.2.

⁶⁹ Cf. 2.4.

adecuadamente en la *Óptica*,⁷⁰ que es el dominio donde podemos ver operar con toda fuerza el procedimiento transductivo de la regla III.

La regla IV dice que la inducción suministra "verdades, o cosas muy aproximadas a la verdad." Ahora bien, el método para acercarse a la verdad no es atendiendo a las hipótesis contrarias, sino a otros fenómenos que las modificarán de tal modo que las harán más certeras. Newton insiste en que la inducción suministra verdades, ya que él quiere que no le discutan desde las hipótesis, sino que le muestren los fenómenos que le contradicen (mediante otros experimentos) o los fallos de su teoría. En consecuencia, según esta regla, operar correctamente exige aceptar las reglas newtonianas, pues argumentar desde teorías rivales es hacer hipótesis. Todo esta "maquinaria" está en contra de las críticas a la primera edición, por parte de los cartesianos. Para éstos, el único modo de llegar a la verdadera ciencia de la naturaleza consistía en elegir, de entre las hipótesis, aquellas que pueden deducirse a priori mediante el criterio de claridad y distinción. Newton ideó una quinta regla para tratar de poner una barrera contra este proceder, pero no se sabe porqué nunca la publicó.⁷¹

⁷⁰ La *Óptica* es un libro inacabado y programático, en el cuál no se pudo demostrar la existencia de principios matemáticos que la rijan. La formulación de un teoría matemática de la luz y su rechazo final está analizado en A. Shapiro: "Experiments and Mathematics in Newton's Theory of Color".

⁷¹ Cohen cita a la quinta regla como: "Deben considerarse hipótesis cualesquiera cosas no derivadas de los objetos mismos, sea por los sentidos externos o por la sensación de pensamientos internos. Siento así que estoy pensando, lo cual no podría suceder si al mismo tiempo no sintiese que soy. Pero no siento que idea

Reconsiderando lo que se ha dicho de las *Regulae Philosophandi*, éstas le permiten a Newton justificar sus generalizaciones y, consecuentemente, sus resultados. Así, las reglas juegan un doble papel; dan sustento a la legitimización de sus conclusiones y le restan valor a las conclusiones de los cartesianos, atacando su proceder y sus principios, como se ve en el proyecto de la quinta regla.

Leemos en la regla IV que Newton nos advierte en contra de que "el argumento de inducción sea suprimido por las hipótesis" por lo que las hipótesis juegan un rol importante en la articulación de las reglas de Newton. Pasemos a analizar qué entiende Newton por hipótesis y cuál es su función metodológica.

2.6 Las hipótesis

Pese a la advertencia de la regla IV, las "hipótesis" no están del todo ausentes.⁷² Por ejemplo, Newton hace la suposición de que los rayos de luz son flujos de partículas sólidas: "Incluso los rayos de luz parecen ser cuerpos sólidos; si no lo fueran ellos no tendrían propiedades diferentes en sus lados diferentes."⁷³ También

alguna sea innata [...]. Y aquellas cosas que no se siguen de los fenómenos ni por demostración ni por argumento inductivo las considero hipótesis." Cohen: *Introduction to the Principia*; p. 30.

⁷² En los *Principia* aparecen tres hipótesis explícitas: la que abre la secc. IX Lib. II, la que sigue a la proposición X del Lib. III, y la que aparece tras el lema III de la Prop. XXVIII en ese mismo libro. Aparte es de considerarse los Escolios y en la *Óptica* las *Queries*.

⁷³ *Óptica*, Query 31 p. 326.

nos asegura que esta no es una proposición fundamental de su sistema, es solamente una opinión probable, cuyo grado de certeza nunca es expresada, una opinión que supuestamente no forma parte de su conocimiento indubitable:

Es cierto que desde mi teoría yo debato sobre la corporeidad de la luz; pero yo lo hago sin ninguna certeza, como la palabra tal vez lo insinúa, que lo hace, a lo más, una muy plausible consecuencia de la doctrina, y no una suposición fundamental.⁷⁴

Newton, en otro pasaje, también con cierta timidez, ofrece una Hipótesis explicando las propiedades de la luz:

Si asumo una hipótesis ésta deberá ser ponderada lo más general, tanto que no determine lo que la luz es, sino que vaya más allá y diga lo que es ese algo, u otra cosa, capaz de provocar vibraciones en el éter; entonces será tan general y comprensible a la luz de otras hipótesis que no deja lugar a otras nuevas a que sean inventadas ... y por lo tanto no debo asumir ni esta ni otra hipótesis, no creyendo necesario expresar si las propiedades de la luz descubiertas por mí sean explicadas por ésta, o por la de Mr. Hooke, o cualquier otra hipótesis capaz de explicarlas; mas mientras estoy describiendo esto, debería, algunas veces, evitar palabrería y representarla mas convincentemente, hablando de esto como si lo asumiera y lo propusiera para ser creído.⁷⁵

Aún mas, aunque tuviera alguna incertidumbre con respecto a los detalles de la hipótesis, nunca se le ocurrió dudar de la existencia de un medio que, al menos, tuviera la función de transmitir la luz. A pesar de todo en lo que no están de acuerdo, Newton está de acuerdo con Hooke en que existe un éter, y también

⁷⁴ Carta a Oldenburg, Julio, 1672, en Isaac Newton, *Opera quae existant omnia commentariis illustrabat Samuel Horsley* de aquí en adelante será *Opera. Apud Madden, Theories of Scientific Method.* pp. 119 ff.

⁷⁵ Carta a Oldenburg, enero 25, 1675-76, en D. Brewster *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton.*

concuerdan en que este éter era un medio susceptible a las vibraciones. En realidad Newton también propone, en otro contexto,⁷⁶ la hipótesis de un éter. Aquí Newton sugiere, otra vez, con alguna timidez, una probable explicación para la gravedad. También en este caso, a pesar de la incertidumbre con respecto a los detalles, él no era capaz, en vista de su convicción acerca de la imposibilidad de la acción a distancia, de abandonar, en una forma o en otra, la hipótesis de un medio etéreo.⁷⁷ Newton nunca abandonó la esperanza de que la evidencia experimental podría, eventualmente, ayudar a establecer o desechar algunas de sus conjeturas específicas que tenían que ver con la naturaleza del éter. Esta era la idea y el propósito de un conjunto importante de las 31 preguntas agregadas a la *Óptica*. También se corrobora esta aserción acerca de la hipótesis etérea, en el último párrafo de los *Principia*:

⁷⁶ Por ejemplo en el magnetismo o incluso en Dios. Ver *Óptica*, Query 31, y el Escolio General de los *Principia*.

⁷⁷ En una carta a Bentley, del 25 de febrero de 1693, Newton se pronunció de la siguiente manera acerca de las fuerzas a distancia: "Es inconcebible que la materia bruta inanimada opere y afecte (sin la mediación de otra cosa que no sea material) sobre otra materia sin contacto mutuo, como debe ser si la gravitación en el sentido de Epicuro es esencial e inherente a ella. Y esta es la razón por la que deseo que no me adscriba la gravedad innata. Que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia de forma que un cuerpo pueda actuar a distancia a través de un vacío sin la mediación de otra cosa con la cual su acción o fuerza puede ser transmitida de [un lugar] a otro, es para mí una absurdidad tan grande que no creo que pueda caer en ella ninguna persona con facultades competentes de pensamiento en asuntos filosóficos. La gravedad debe ser producida por un agente que actúe constantemente según ciertas leyes, pero si este agente es material o inmaterial, es una cuestión que he dejado a la consideración de mis lectores." [Newton se manifestó en un sentido parecido al de ésta carta sobre la "causa de la gravedad" en su Escolio General, ver más adelante]

Bien podríamos ahora añadir algo de cierto espíritu sutilísimo que atraviesa todos los cuerpos gruesos y permanece latente en ellos; por cuya fuerza y acciones las partículas de los cuerpos se atraen entre ellas a las mínimas distancias y una vez que están contiguas permanecen unidas; y los cuerpos eléctricos actúan a distancias mayores, tanto repeliendo como atrayendo a los corpúsculos vecinos; y la luz se emite, se refleja, se refracta e inflexiona y calienta a los cuerpos; y toda sensación es excitada, y los miembros de los animales se mueven a voluntad, a saber mediante las vibraciones de ese espíritu ... 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 este espíritu.⁷⁸

El que en la *Óptica* se pretenda, con insistencia, ignorar a las hipótesis, es solamente aparente. Newton dedica la primera mitad del libro a mostrar la insuficiencia de las hipótesis existentes para explicar los hechos que los experimentos muestran. Como resultado de criticar y rechazar constantemente hipótesis alternativas, Newton se conduce hacia una nueva concepción de la materia (que sería una nueva hipótesis) que sometería a prueba y confirmación, por medio de los experimentos. Aún mas, el apéndice del *Óptica* está totalmente compuesto por una serie de preguntas que son hipótesis tentativas acerca de esta nueva concepción de la materia, las cuales, supuestamente, Newton no ha tenido tiempo de probarlas experimentalmente, pero las incluye porque considera que vale la pena su investigación. El hecho de que, en las ediciones sucesivas de la *Óptica*, esta sección fue considerablemente aumentada⁷⁹

⁷⁸ Y en la *Óptica* p. 347 dice que "existen agentes en la naturaleza capaz de hacer que las partículas de los cuerpos se peguen juntas por atracciones muy fuertes. Y es el trabajo de la filosofía experimental encontrarlas."

⁷⁹ En la edición de la *Óptica* de 1704 hay 16 *Queries*, en la edición latina de 1706 aparecen 7 *Queries* más (*Queries* 17-23 que se transforman a las *Queries* 25-31 de las ediciones posteriores), en la edición de 1717/18 aumenta el número de *Queries* a 31 (las 8 *Queries* que se aunaron fueron numeradas del 17 al 24) y en todas

sugiere que conforme los años iban pasando, él les asignaba mayor importancia metodológica debido a su capacidad heurística.

Por tanto, Newton no estaba en contra de todas las hipótesis y cualquier uso que tengan, pero si de algunas formas dogmáticas y de algunos abusos que se exponen a continuación.

En los tiempos de Newton, un método hipotético ampliamente utilizado para sostener la verdad de las teorías era mediante el siguiente procedimiento. Si existen muchas hipótesis que explican igualmente un conjunto de fenómenos, por el método de exhaustión (de alguna manera cada posible alternativa era mostrada ser falsa) se llegaba a que una (la única sobreviviente) de ellas, debería ser aceptada como explicación verdadera.

Newton protestaría fuertemente en contra de establecer la verdad por medio del uso de esa hipótesis, tal como Hooke lo hacía, y apunta que este método de prueba es extremadamente falaz, a menos que ciertamente hallamos enumerado el total de las hipótesis, pero ¿es posible realizar semejante empresa? No, para él, el método verdadero de investigar a la naturaleza es el de la deducción de los fenómenos. Nosotros debemos de establecer teorías no solo con base en refutar las demás alternativas, sino en base a la experimentación y confirmación. Esto nos dice en el siguiente pasaje:

Yo no creo que sea efectivo para determinar la verdad, el examinar los caminos diferentes por los cuales los fenómenos deberían de ser explicados, a menos donde puedan ser enumerados perfectamente todos los caminos ... el método correcto para buscar las propiedades de las cosas es deducirlas de los experimentos. Y yo le digo que la teoría que yo propongo se me mostró, ... no deduciéndola solamente mediante la confrontación de suposiciones

las ediciones posteriores se conservó en 31 el número de *Queries*.

contrarias, sino derivándola de los experimentos concluyendo propia y directamente de los experimentos. De lo que la manera de examinarla es considerando si los experimentos que yo propongo prueban efectivamente las partes de la teoría a los que se aplica; o hacer los experimentos que la teoría sugiera para su examen.⁸⁰

En relación con este mal empleo de las hipótesis es la siguiente observación que hace Newton. Si de verdad la única manera de probar la verdad de una teoría fuese el indirecto,⁸¹ se seguiría que ninguna teoría podría ser adecuadamente establecida, no importa que tan buena sea la evidencia experimental que la soporte, siempre que alguna alternativa sea posible. Newton dice que no importa que tan bien está establecida experimentalmente una teoría ya que podría ser muy fácil el construir otras hipótesis que se acomoden igual de bien a los fenómenos y esas hipótesis, aunque sean de poca posibilidad o plausibilidad, no puede ser absolutamente excluidas como, por lo menos, posibilidad alternativa. Él insiste que tal posibilidad no debe afectar nuestro juicio en el menor grado. Si fuera legítimo rechazar teorías bien establecidas de esa manera, sería por tanto imposible para la ciencia encontrar cualquier resultado:

Si cualquiera ofrece conjeturas acerca de la verdad de las cosas desde la mera posibilidad de una hipótesis, yo no veo como algo certero pueda ser determinado en la ciencia; ya que uno siempre puede pensar otras y otras hipótesis que parecerían establecer nuevas dificultades. De lo que yo juzgo

⁸⁰ Carta a Oldenburg, Julio 1672 *Opera*, IV, 320.

⁸¹ Mostrado anteriormente, consiste en refutar todas las alternativas concebibles.

que uno debería abstenerse de considerar hipótesis, como de un argumento falaz.⁸²

Como ya lo hicimos ver antes, su cuarta regla para filosofar está directamente dirigida contra ese uso de las hipótesis.

Un tercer abuso que encuentra en el uso de hipótesis es el procedimiento de aquellos, como los cartesianos, que han colmado su física con construcciones a priori. Este método lleva a rechazar, o no reconocer la validez de cualquier conclusión contraria a su sistema, aunque esta conclusión haya sido derivada de una inducción legítima, en una investigación experimental cuidadosa. Este tipo de dogmatismo metodológico, desde su punto de vista, es invertir el verdadero orden de las cosas en el proceso de la investigación. El método sintético, o deductivo, puede, por sí sólo, no tener ningún punto de partida legítimo; i.e. empírico dado por el análisis y la inducción. Él insiste en que se debe partir desde los fenómenos y la experimentación cuando se hace investigación en la ciencia natural, y protesta fuertemente en contra del rechazo de resultados legítimos basado en hipótesis dogmáticas.⁸³

La conclusión de las críticas de Newton al método de las hipótesis⁸⁴ es, entonces, que son incapaces de dar bases adecuadas

⁸² *Secunda responsio ad Pardies*, Philosophical Transactions, No. 85 p. 5014 apud *Opuscula*, II, 329.

⁸³ Newton, *Óptica Query* 31 citado anteriormente.

⁸⁴ Se ha mostrado que existen varias versiones del método por hipótesis. Esas versiones del método por hipótesis son parte de la pluralidad de concepciones metodológicas característico de la época.

ya sea para la aceptación o rechazo de cualquier teoría científica, y quien quiera que las use de esta manera será culpable de este abuso. Las teorías pueden establecerse legítima y solamente por evidencia experimental, y pueden ser refutadas solamente: (1) mostrando la insuficiencia de la evidencia experimental a favor o (2) produciendo evidencia experimental que le sea adversa.⁸⁵

Ahora, la función aceptable, según Newton, de las hipótesis se puede enunciar en los siguientes términos: las hipótesis, en cualquier lugar, deben de tener una función heurística, no dogmática. Esta, por ejemplo, es la utilidad de aquellas hipótesis que tienen lugar en las *Querries* de la *Óptica*, a las cuales ya nos hemos referido con anterioridad. Ellas sirven para dirigir la investigación, para indicar nuevas líneas y para sugerir nuevos experimentos por medio de los cuales debería de avanzar la ciencia. Así, nos dice que "Las hipótesis deben encajar para explicar las propiedades de las cosas y no deben intentar predeterminarlas excepto cuando éstas pueden ser incorporadas a los experimentos."⁸⁶

⁸⁵ Este punto se ve reforzado con el siguiente pasaje tomado de la carta a Oldenburg de Julio de 1672: "Y entonces yo podría desear que todas las objeciones provenientes de hipótesis o de otras cabezas fueran suspendidas a menos que sean de estas dos: que demostrando la insuficiencia de los experimentos que determinan esas preguntas, o que prueben que cualquier parte de mi teoría, asignándole los errores y defectos que en mis conclusiones son deducidas de éstas, o haciendo experimentos, los cuales directamente me contradigan, si eso llegara a pasar. Y si los experimentos que yo realizo son defectuosos, no podría ser difícil mostrar esos defectos; pero si son válidos, entonces probando la teoría, ellos hacen que todas las objeciones sean inválidas" en *Opera*, IV, 321.

⁸⁶ *Secunda responsio ad Pardies*, Phil. Trans. No. 85 p. 5014, *Opuscula II*, 329 ó Burt: *The Methaphisical Foundations of Modern Science*; p. 211.

Pero hay también otro uso de hipótesis en el cual, si Newton no está a favor, no lo desecha completamente. Queda claro que determinar los hechos experimentalmente debe anteceder a cualquier teoría y a cualquier interpretación,⁸⁷ pero una vez que los hechos están determinados, Newton nunca censura que se consideren hipótesis. Como en la *Óptica* procede, en primera instancia, a una crítica de las hipótesis existentes, desde los resultados que los experimentos establecieron, y a un rechazo de todo aquello que no pueda ser conciliado con los hechos. Pero aún más, nosotros podremos, si se quiere, permitirnos la construcción de hipótesis explicativas que sean provisionales.⁸⁸ Hemos observado con que reservas Newton ocasionalmente cae en este tipo de especulaciones, pero en la mayor parte, y mayormente en los últimos años, él prefiere, en su propia práctica, abstenerse tanto como sea posible de cualquier cosa de esta índole. Las consideraciones que lo llevaron a adoptar una postura más rígida parecen ser las siguientes: (1) Aunque uno pueda resistirse a la tendencia de transformar

⁸⁷ "Nosotros debemos aprender de los fenómenos de la naturaleza que los cuerpos se atraen unos a los otros, y cuales son las leyes y las propiedades de la atracción, antes de que nos preguntemos por la causa por medio de la cual se realiza la atracción" *Óptica*, Query 31. También en la carta a Oldenburg, Julio, 1672, *Opera IV*: "Y esto yo lo habría hecho usando un método doble; las leyes de la refracción se investigan y se determinan, antes de que se tome en consideración la naturaleza de los colores"

⁸⁸ "El mejor y más seguro método para filosofar parece ser, primero diligentemente investigar las propiedades de las cosas y establecerlas mediante los experimentos, y después buscar hipótesis que las expliquen." "Las hipótesis deben de caber solo en explicar las propiedades de las cosas y no atentar con determinarlas ..." (*Secunda responsio ad Pardies*, *Philosophical Transactions*, No. 85, p.5014 *Opuscula*, II, 233 Trad. Burt: *The Methaphysical Foundations of Modern Science*, p.211)

en dogmas tales hipótesis, es más probable que el lector las mal interprete. De lo que los lectores serían fácilmente llevados a suponer que esas hipótesis, en vez de ser sólo sugerencias tentativas con alguna probabilidad, constituyen presuposiciones fundamentales o verdades del sistema. (2) Más, la inclusión de tales materiales tan cuestionables llevan en la práctica a vanas e interminables controversias, que tienen por todos los medios que ser evitadas. (3) Tales especulaciones dudosas, aunque legítimas, desde otros puntos de vista, no forman parte del problema real del científico. Sería mejor, para el científico, dispensarse de aquellos problemas que son más apropiados para el metafísico. En este último punto, es particularmente recurrente. Él habla comúnmente de "atracciones e impulsiones" como de "fuerzas", "poderes" y "causas" de los fenómenos, pero nunca le anuncia al lector que éstas son sólo expresiones adoptadas por conveniencia. Su intención verdadera es el descubrir, por análisis, las relaciones matemáticas que están ejemplificadas en los fenómenos, no declarar las causas de las cuales éstas dependen. La naturaleza de sus convicciones en este punto están contenidos en los párrafos siguientes:

Tal concepto es meramente matemático, puesto que no considero aquí las causas y las bases físicas de las fuerzas ... Por cierto que llamo en el mismo sentido fuerzas acelerativas y motrices a las atracciones y a los impulsos. Utilizo unas por otras, e indiferentemente, las palabras atracción, impulso, tendencia de cualquier tipo a un centro, y lo hago considerando a tales fuerzas, no en su aspecto físico, sino solo en el matemático. De ahí que cuide el lector de no creer que con estas palabras yo esté definiendo algún genero o modo de acción o causa o propiedad física o que estoy atribuyendo a los centros (que son puntos matemáticos)

verdaderas fuerzas físicas, si me hallaré diciendo que los centros atraen o que las fuerzas son centrales.⁸⁹

Yo debo, por tanto, al presente continuar tratando el movimiento de los cuerpos que se atraen mutuamente; considerando la fuerza centrípeta como atractiva; entonces puede ser que en un sentido físico deberían mejor de ser llamados impulsos. Pero estas proposiciones son para ser consideradas como puramente matemáticas; y por supuesto, dejando a un lado todas las consideraciones físicas, yo hago uso de una manera muy familiar de hablar, para darme mas fácil a entender por un lector matemático⁹⁰

Tomo aquí la palabra atracción de modo genérico para cualquier conato de los cuerpos de acercarse mutuamente, tanto si tal conato acontece por la acción de los cuerpos, que se buscan unos a otros, se agitan mutuamente mediante emisión de espíritus, como si surge de la acción del éter o del aire o de cualquier otro medio corpóreo o incorpóreo que empuje de alguna forma a los cuerpos inmersos en él unos hacia otros. Y en el mismo sentido genérico utilizo el término impulso, ocupándome en este tratado no de las especies de fuerzas y cualidades físicas sino de las cantidades y las proporciones matemáticas como expliqué en las definiciones. En matemáticas se han de investigar las magnitudes de las fuerzas y las razones que se siguen en cualesquiera condiciones supuestas: después, al descender a la física, hay que comparar estas razones con los fenómenos; para que aparezca cuales condiciones de esas fuerzas corresponden a cada clase de cuerpos atractivos. Y sólo después será posible discutir con más seguridad sobre las clases de fuerzas, de las causas y razones físicas.⁹¹

Ciertamente que consideramos un cuerpo como atractor, otro como atraído, pero esta distinción es más matemática que natural. La atracción es realmente común tanto en uno como en otro, y por tanto del mismo tipo en los dos casos ... y ya que la acción mutua de dos planetas puede distinguirse y consideradas como dos, por medio del cual cada uno atrae al otro, entonces, como esas acciones son intermedias, ellos no hacen dos sino una operación entre dos términos⁹²

⁸⁹ Newton: *Principia* Libro I def. 8 p. 126.

⁹⁰ Newton: *Principia* Libro I sec. II, trans. Motte, I, 144.

⁹¹ Newton: *Principia* Libro I, sec. XI Escolio de la prop. LXIX teo. XXIX p. 360.

⁹² Newton: *Principia* Libro III, p. 526.

El investigador espera poder descubrir las leyes matemáticas de los fenómenos;⁹³ pero la naturaleza última de las cosas, o sus últimas causas, de las que estos dependen, pueden ser el objeto de infinidad de hipótesis, de las cuales sería imposible decidir con cualquier evidencia existente. Newton declara repetidamente que no es su intención determinar cualquier cosa que se relacione a estos tópicos.⁹⁴ La luz, por ejemplo, es "algo" que se propaga de acuerdo a ciertas leyes matemáticas; esto es todo con lo que él se va a comprometer.⁹⁵ Otros se podrán ocupar de tales especulaciones, si

⁹³ "Los rayos de luz ya sean cuerpos muy pequeños proyectados, o solamente movimiento o fuerza propagada, se mueven en líneas rectas." *Óptica* Libro II, Parte III prop. VIII p. 232.

⁹⁴ "Que tipo de acción o disposición es esta; ya consista en movimiento circular o vibratorio del rayo, o del medio, o de cualquier otra cosa, yo no lo investigo aquí." "Yo me contento con sólo el puro descubrimiento, que los rayos de luz por algunas causas ... son reflectados o refractados en muchas viscidudes." Newton: *Óptica* *Ibíd.* "Pero examinar como los colores deberían de ser explicados hipotéticamente, no es mi propósito ... Yo nunca intenté mostrar en que consiste la naturaleza de los distintos colores, pero sólo mostrar que de facto ellos son cualidades originales e inmutables de los rayos que los exhiben" Carta a Oldenburg, Enero, 1672-73 *Opera*, IV, 350.

⁹⁵ "Por consiguiente, dada la analogía existente entre la propagación de los rayos de luz y el movimiento de los cuerpos, parece oportuno añadir las proposiciones siguientes para usos ópticos sin discutir determinando tan sólo las trayectorias de cuerpos muy semejantes a las trayectorias de los rayos." *Principia* Libro I, sec. 14 prop. XCVI Escolio p. 406 "Yo escojo declinarlas todas [las hipótesis] y hablar de luz abstractamente como algo u otra cosa que se propaga por donde sea en líneas rectas desde los cuerpos luminosos, sin determinar lo que eso es; ya sea una mezcla confusa de cualidades carentes de forma, a modo de cuerpos, o cuerpos en sí; o cualquier virtud, poder o lo que sea." Carta a Oldenburg, julio 1672, *Opera* IV "... el determinar con mayor certeza lo que la luz es, después de determinar la manera en que se refracta, y por los modos o acciones que producen en nuestras mentes los fantasmas de los colores, no es fácil: y yo no mezclo conjeturas con certezas." *Theory of Light and Colours*, *Opera*, IV, 305.

ellos quieren, ya que es fácil inventar explicaciones hipotéticas⁹⁶ que también difieran en distintos principios.⁹⁷ Alguien pudiera encontrar tales hipótesis, valiosas como adornos de la representación imaginaria, por la ayuda de sus mentes que están más alertas a encontrar las relaciones de las cosas. Newton no guarda cualquier sugerencia para lograr este fin, con su apropiada advertencia de que no debe ser mal entendida. Pero él casi siempre estaba poco interesado en este tipo de cosas. ¿Porque deberíamos buscar las últimas "causas" cuando las leyes que hemos descubierto son suficientes para describir todos los fenómenos? La respuesta a esta pregunta está en la primera regla para filosofar ya que para él, no hay necesidad de averiguar las causas últimas de los fenómenos, cuando estos están explicados satisfactoriamente mediante la descripción de cómo operan en el mundo.

Newton tiene una hostilidad especial hacia las hipótesis que envuelvan "causas oscuras", porque éstas no tienen ni siquiera el mérito de presentarse como imágenes precisas de la mente. Las "Cualidades ocultas" son solamente nombres vacíos para disimular nuestra ignorancia:

⁹⁶ "... para mi, es un negocio de muy poca importancia acomodar hipótesis *ad hoc* a una doctrina" *Secunda responsio ad Pardies*, Phil. Trans. No. 85, p. 5014, *Opuscula II*, 333. Newton intenta "dejarlo a otros explicar, por medio de hipótesis mecánicas, la naturaleza y la diferencia en las cualidades; lo cual yo no creo que sea una muy difícil" Carta a Oldenburg, Enero 1672-73, *Opera*, IV, 350

⁹⁷ "Pero yo se que las propiedades, que yo declaré acerca de la luz, pueden ser posiblemente explicadas no solamente por éstas, sino por otras muchas hipótesis matemáticas; pero todas las anteriores yo las rechazo" Carta a Oldenburg, julio, 1672 *Opera IV*, 324.

También me parece que estas partículas no sólo poseen una *Vis inertiae*, acompañadas de las leyes pasivas del movimiento que derivan naturalmente de esa fuerza, sino que también están movidas por ciertos principios activos, tales como el de la gravedad y los que causan la fermentación y la cohesión de los cuerpos. No considero que estos principios sean cualidades ocultas, supuestamente derivadas de las formas específicas de las cosas, sino que son leyes generales de la naturaleza por la que se forman las cosas mismas y cuya verdad se nos aparece por los fenómenos, aún cuando sus causas aun no hayan sido descubiertas. Estas cualidades son manifiestas y sólo sus causas son ocultas. Los aristotélicos dieron el nombre de cualidades ocultas no a las manifiestas, sino sólo a aquellas que suponían ocultas en los cuerpos, siendo causas desconocidas de fenómenos manifiestos, tales como serían las causas de la gravedad y de las atracciones eléctricas y magnéticas, así como de las fermentaciones, si supiésemos que esas fuerzas o acciones surgiesen de cualidades desconocidas para nosotros e incapaces de ser descubiertas y hechas manifiestas. Tales cualidades ocultas ponen una barrera al desarrollo de la filosofía natural, por lo que han sido rechazadas en los últimos años. Decir que todo tipo de cosas está dotado de una cualidad oculta específica por la que actúa y produce efectos manifiestos equivale a no decir nada. Sin embargo, derivar dos o tres principios generales del movimiento a partir de los fenómenos, para decir a continuación cómo se siguen de esos principios manifiestos las propiedades y acciones de todas las cosas corpóreas, habría de constituir un gran paso en filosofía, aunque las causas de esos principios aún no se hubiesen descubierto. Por tanto, no tengo ningún escrúpulo en proponer los principios del movimiento anteriormente mencionado, puesto que son de una aplicación general, aún cuando sus causas queden aún por descubrir."

Entonces, la gravedad, la atracción eléctrica, y otras parecidas, a pesar de que no sabemos nada de su naturaleza última o causa, no son cualidades ocultas, ya que en la descripción de estas fuerzas contamos con ciertas relaciones matemáticas entre los fenómenos, que pueden corroborarse con exactitud, experimentalmente.

La objeción newtoniana a las "cualidades ocultas" de los escolásticos, de que éstas no dicen nada, también la hicieron los

⁹ Newton: *Óptica*, Query 31 p. 325. Antes, en la misma pregunta, Newton dice "Otros nos dicen que los cuerpos están pegados juntos con pegamento por medio del reposo, esto es por medio de una cualidad oculta, o mejor dicho, por nada." Esto es debido a que "los modernos, dejando a un lado las formas sustanciales y las cualidades ocultas, han empezado a someter los fenómenos de la naturaleza a las leyes matemáticas" (*Principia* Prefacio de 1686, I, Motte).

cartesianos. Pero Newton va más allá, ya que, desde su punto de vista, las explicaciones mecánicas de los cartesianos no están mejor que las cualidades ocultas de los escolásticos. Las explicaciones cartesianas son más "ocultas" que manifiestas, ya que se basan en entidades hipotéticas que están atrás de los fenómenos, más que en las relaciones funcionales que se pueden descubrir en ellos.

Con todos estos elementos estamos en la posición de comprender mejor lo que quiso decir Newton en el penúltimo párrafo de los *Principia*, así como su famoso *hypothesis non fingo*:⁹

Hasta aquí he expuesto los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de la gravedad, pero todavía no he asignado causa a la gravedad. Efectivamente esta fuerza surge de alguna causa que penetra hasta los centros del Sol y de los planetas sin disminución de la fuerza; y la cual actúa, no según la cantidad de las superficies de las partículas hacia las cuales actúa (como suelen hacer las causas mecánicas) sino según la cantidad

⁹ El dictum *hypothesis non fingo* ha sido traducido al inglés como "*I frame no hypotheses*." Cuando esta traducción apareció, por primera vez, en la traducción de los principios al inglés de Andrew Motte, los lectores sabían que el verbo "*to frame*" tenía un sentido peyorativo, más parecido a "hacer quimeras" que a su traducción literal al castellano de "imaginar". Alexander Koyré encontró que Newton, en varias ocasiones, usó el verbo "*to feign*" (que se deriva del latín *fingere*) más que "*to frame*." Para resaltar el sentido acusador del vocablo *fingere*, citamos la Query 29, originalmente escrita en inglés, donde Newton usa la expresión *feigning hypothesis*, cuyo significado es "fingir hipótesis". El verbo *fingere* presenta tres significados pertinentes: 1) Modelar, dar forma (*ars fingendi* es la escultura); componer, redactar (*versus fingere* es hacer rimas); 3) fingir, fraguar, maquinarse falsamente. De lo que Newton nos estaría diciendo que él no finge hipótesis, en el sentido de suponer las cosas al estilo de los cartesianos, que tanto criticó. En las traducciones españolas, existen dos variantes; la edición de los *Principia* de la editorial Alianza, la oración se traduce como "yo no imagino hipótesis" guardando la traducción inglesa, sin el aviso del sentido con el que se usa "*to frame*". En las ediciones de las editoriales Altaya (1993) y Tecnos (1997), preparada ambas por Antonio Escohotado, la frase se traduce como "yo no finjo hipótesis" que es más fiel al sentido original de la frase.

de materia sólida; y cuya acción se extiende por todas partes hasta distancias inmensas, decreciendo siempre como el cuadrado de las distancias. La gravedad hacia el Sol se compone de las gravedades hacia cada una de las partículas del Sol, y separándose del Sol decrece exactamente en razón del cuadrado de las distancias hasta más allá de la órbita de Saturno, como se evidencia por el reposo de los afelios de los planetas, y hasta los últimos afelios de los cometas, si semejantes afelios están en reposo. Pero no he podido todavía deducir a partir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad y yo no finjo hipótesis. Pues lo que no se deduce de los fenómenos, ha de ser llamado hipótesis; y las hipótesis, bien metafísicas, bien físicas, o de cualidades ocultas, o mecánicas, no tienen lugar dentro de la filosofía experimental. En esta filosofía las proposiciones se deducen de los fenómenos, y se convierten en generales por inducción. Así, la impenetrabilidad, la movilidad, el ímpetu de los cuerpos y las leyes de los movimientos y la gravedad, llegaron a ser esclarecidas. Y bastante es que la gravedad exista de hecho y actúe según las leyes expuestas por nosotros y sea suficiente para todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar.

Así que en Newton encontramos dos posturas básicas con respecto a las hipótesis; la primera de aceptación, cuando la hipótesis está vinculada a dirigir la experimentación; la segunda de rechazo, cuando la hipótesis tiene connotaciones dogmáticas o quiméricas. Un elemento metodológico importante que Newton dice usar para escoger entre hipótesis alternativas, es el *experimentum crucis*. Analicemos en qué consiste.

2.7 Los *Experimentum Crucis*

El término *experimentum crucis* formó parte, por mucho tiempo, del lenguaje de la ciencia, connotando a los experimentos cruciales que posibilitan a los científicos a escoger entre alternativas o teorías rivales.

El concepto, pero no su terminología, tiene sus orígenes en Francis Bacon. En su *Novum Organum* (1620), Bacon habla acerca de una *instantiae crucis* o experiencia crucial, la cuál, como un signo

en una encrucijada, sin duda apuntaría hacia el camino verdadero. La diferencia principal entre Bacon y Newton, en cuanto a la manera de entender el *experimentum crucis*, es que mientras que Bacon espera encontrar una experiencia que sea crucial, Newton espera poder diseñar un experimento que sea crucial.¹⁰⁰ Fue Robert Hooke, en la *Micrographia* (1665), quien usó por primera vez la más familiar expresión cuando se refería a la generación de los colores por placas delgadas como "una guía o marcas en la tierra", y a los *experimentum crucis*, como la instancia por medio de la cuál se podía "buscar después la verdadera causa de los colores."¹⁰¹

Cuando en 1672 Newton publicó sus investigaciones sobre la naturaleza de la luz y el color, se refirió a un *experimentum crucis* que había realizado. El experimento ha sido reconocido como uno de los puntos de ruptura en la óptica y como una demostración de la nueva técnica experimental.

El problema al que se enfrenta Newton, en el escrito de 1672, es el de explicar por qué el espectro que se produce al pasar luz blanca a través de un prisma, es colorido y oblongo, y no circular, ya que si la luz blanca no estuviera compuesta de colores, sino que fuese así *per se*, entonces no se puede explicar por qué su espectro es oblongo.

El experimento fue descrito, pero no ilustrado, en dicho escrito de 1672. A la luz del Sol se le hizo pasar por un prisma A

¹⁰⁰ La diferencia entre "experiencia" y "experimento" en el siglo XVII se encuentra en Dear, P.: *Discipline & experience*; capítulo I.

¹⁰¹ Hooke, Roberto: *Micrografía*, p. 54.

y después se le dirigió, a través de un hoyo en un tablero, a un segundo prisma B. Ajustando el prisma A, Newton encontró que el podía dirigir cualquier parte del espectro hacia (B). El resultado que reportó es:

Que la luz, tendiendo hacia el final de la imagen, hacia el cual la refracción del primer prisma fue hecho, en el segundo prisma la luz sufre mayor refracción que la del otro final. Y por lo tanto la causa verdadera de la longitud de la imagen fue detectada ser, no otra, sino que la luz consiste en rayos de distinta refrangibilidad. Dichos rayos, sin importar la diferencia en sus incidencias, fueron, de acuerdo con sus grados de refrangibilidad, transmitidos hacia distintos partes de la pared.¹⁰²

Lo que quiere decir Newton es que los rayos monocromáticos del espectro, una vez que pasó el prisma A, aún incidiendo en el prisma B, con ángulos iguales, los ángulos con los que emergen los rayos del prisma B, varían considerablemente de acuerdo a sus distintos grados de refrangibilidad. Entonces, la refrangibilidad de los colores era independiente del ángulo de incidencia, o como él se lo dijo a Hooke,

rayos de diferentes colores considerados cada uno aparte, a iguales incidencias sufren desiguales refracciones sin haber sido separados, rarificados, o de cualquier manera dilatados.¹⁰³

Por tanto, la luz blanca estaba compuesta de distintos rayos de distintos colores, cada uno con diferente grado de refracción. Este

¹⁰² Newton apud Z. Bechler, "Newton's 1672 Optical Controversies" p.118 ff.

¹⁰³ Newton: *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy* p. 134.

experimentum crucis no fue bien aceptado sino hasta aproximadamente 50 años después de haberlo publicado.

El concepto de *experimentum crucis*, en Newton, es un instancia para confrontar dos hipótesis rivales en la descripción de un fenómeno. Él es lo suficientemente capaz como para darse cuenta de la posibilidad de salvar una hipótesis de la refutación, mediante la conjunción de ésta con otras hipótesis auxiliares escogidas apropiadamente, pero cree que bajo el método de diseñar cuidadosamente los *experimentum crucis* que sean pertinentes, puede discernir sin lugar a dudas entre dos hipótesis; i.e. diseñar un experimento de tal manera que, cuando se ingenian bien las condiciones en las cuales se va a realizar, la primera tesis prediga un fenómeno y la segunda su negación; de lo que no hay aquí cabida para las estrategias escépticas: la naturaleza es tajante en su respuesta, refutando una y confirmando la otra, ya que al ser contradictorias, una de ellas ha de ser necesariamente verdadera y la otra necesariamente falsa. Pero ya vimos que para Newton, una vez decidida la explicación más conveniente de los fenómenos, se debe proceder a encontrar las leyes matemáticas que mejor describen los fenómenos. Estudiemos en qué consiste el papel de las matemáticas.

2.8 Las leyes y la matemática

La tradición científica, anterior a Newton, ya había hablado de leyes naturales y divinas, y de su operación en el mundo. Los estoicos, por ejemplo, habían hablado de una ley universal (*koinos*

nomos) que regía a todo en el Universo. También el término "ley" pueden encontrarse en pensadores como Platón, Aristóteles y Cicerón. Pero en todos ellos el sentido del término es distinto.¹⁰⁴

Una creencia muy común, entre los filósofos escolásticos, era que el universo fuera regido por distintas leyes. Por ejemplo, era considerado como parte de la divina providencia el que los planetas se mueven de una manera peculiar, y que los cuerpos en caída libre en otra diferente, pero lo que no estaba presente en estas nociones de "ley", es la existencia de un número específico de leyes (por ejemplo las leyes de movimiento o la de los gases) que operan, cada una, en su propio dominio.

Así, la idea de que existe un conjunto de leyes que gobiernan sólo un aspecto del comportamiento de los cuerpos en la naturaleza fue una innovación del siglo XVII; esta noción no se encuentra, de esta manera, en Copérnico, Bacon, Galileo, Gilbert o Kepler. Por ejemplo, mientras que ahora nosotros hablamos de las leyes de Kepler, así no las denominó ni Kepler mismo: las primeras dos leyes de Kepler simplemente fueron enunciadas, mientras que la tercera fue presentada como teorema.

En este proceso de evolución del término "ley" o "ley natural", para ser más precisos, fue donde Newton desarrolló su trabajo

¹⁰⁴ Ahora no entraré en detalles para no desviarnos del tema, pero se puede profundizar en Horowitz: "The Stoic Synthesis of the Idea of Natural Law in Man: four Themes", Jaccquette: "Aesthetics and Natural Law in Newton's Methodology", Ruby: "The origins of Scientific <Law>" y Zilsel, E.: "The genesis of the concept of physical law".

científico, por lo que no es de sorprendernos que haya tomado algún tiempo el que se incorpore esta terminología en el trabajo de Newton: encontramos que en el *Waste Book* (1660) lista un número de "axiomas", donde, algunos de estos fueron reemplazados, en una versión primera del *De motu* (1680), por "hipotesis". Y el término "ley" no aparece hasta el tratado posterior, *De motu sphaericonrum corporum in fluids* (1685), que enlista 5 leyes. La terminología fue modificada en los *Principia* (1687) con sus tres "Axiomas o Leyes de movimiento." Y, en la *Óptica* (1704) Newton ha vuelto a usar el lenguaje de 1660, y empezó el trabajo no con leyes sino con 5 axiomas. Entonces, en vez de hablar de la ley de Snell, como se le conoce ahora, Newton la presenta como el "axioma V".

Como se ha visto, Newton no maneja una idea clara del término "ley" en sus libros, por lo que en este apartado estudiaremos lo que Newton entiende por "regir los fenómenos" (o "describir los fenómenos") y la manera como propone hacerlo (que es una definición intuitiva de lo que ahora entendemos por "ley" en ciencia).

Para empezar esta sección tomemos un párrafo del prefacio de los *Principia* en donde Newton dice:

Pues toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos de movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza y después desde estas fuerzas demos el resto de los fenómenos.

La frase "demostrar los otros fenómenos" conlleva el uso de las matemáticas. Newton manifiesta su esperanza, a lo largo de toda su obra, en que todos los fenómenos podrán explicarse, al final, en términos de mecánica matemática, de manera que, el proceder de la

ciencia tiene dos caminos, la deducción de las fuerzas desde ciertos movimientos, y la demostración de otros movimientos desde las fuerzas conocidas.¹⁰⁵ En el prefacio, Newton continúa señalando:

En cambio nosotros ... proponemos estos nuestros como principios matemáticos de filosofía... A esto se refieren las proposiciones generales que tratamos en los Libros primero y segundo. En el libro tercero proponemos un ejemplo de esto con la explicación del sistema del mundo. Pues allí, a partir de los fenómenos celestes, por medio de proposiciones demostradas matemáticamente en los libros anteriores, se deducen las fuerzas de la gravedad por las que los cuerpos tienden hacia el Sol y a cada uno de los planetas. Después, a partir de estas fuerzas, también por proposiciones matemáticas, se deducen los movimientos de los planetas. Después, a partir de estas fuerzas, también por proposiciones matemáticas, se deducen los movimientos de los planetas, cometas, Luna y mar. Ojalá que fuera posible deducir los demás fenómenos de la naturaleza a partir de principios mecánicos con el mismo género de argumentación, pues muchas cosas me mueven a sospechar que puedan depender todos ellos de ciertas fuerzas con las que las partículas de los cuerpos, por causas aún desconocidas, bien se atraen unas a otras uniéndose según figuras regulares, bien huyen y se separan unas de otras; y, siendo estas fuerzas desconocidas, en vano los filósofos hasta ahora intentaron acercarse a la naturaleza. Espero, sin embargo, que con este modo de filosofar o con otro mejor, los principios aquí enunciados añadan alguna luz.¹⁰⁶

También, en la *Óptica*, se encuentran más indicaciones de en qué consiste este método matemático general.

Si se admiten estos teoremas en óptica [con respecto a la refracción y a la composición de la luz], habría amplias posibilidades de tratar por extenso las cuestiones relativas a esta ciencia de una nueva manera, no sólo por lo que respecta al perfeccionamiento de la visión, sino también a la determinación matemática de todo tipo de fenómenos relacionados con los colores susceptibles de producirse por refracción. Para ello, no se precisa más que descubrir las separaciones de los rayos heterogéneos y sus diversas mezclas y proporciones en cada composición. Mediante este tipo de razonamiento, he ingeniado casi todos los fenómenos descritos en estos Libros, así como otros menos indispensables en su argumentación. Por el éxito que he encontrado en mis experimentos, me atrevo a prometer a quien razone correctamente y ensaye todas estas cosas con buenos cristales y suficiente circunspección, que no dejarán de presentarse los sucesos esperados. Pero ha de conocer primero qué

¹⁰⁵ Ver 2.3.

¹⁰⁶ Prefacio de Newton a los *Principia* p. 98-99.

colores habrán de surgir de cualesquiera otros, mezclados en una proporción dada.¹⁰⁷

Newton aquí, evidentemente se considera así mismo como la persona que ha incrementado los límites de la óptica, aplicando el método matemático a los fenómenos de los colores. Esto lo logró mediante la "separación de los rayos heterogéneos y sus mezclas diversas." Al final de su primer libro, resume sus conclusiones acerca de este punto diciendo que como resultado de sus precisas determinaciones experimentales de las cualidades de la refrangibilidad y reflexibilidad, "la ciencia de los colores empieza a ser una especulación tan matemática como cualquier otra parte de la óptica." El ansia de Newton por reducir el grupo de fenómenos ópticos a fórmulas matemáticas, ilustra el papel tan fundamental de las matemáticas en su trabajo. Pero sus declaraciones referentes al método por medio del cual él logra la reducción son tan breves que no aportan ninguna luz sobre el tema.

Y ¿como pretende Newton conciliar las matemáticas con los experimentos? Veamos un párrafo perteneciente a una carta dirigida a Oldenburg, en respuesta a los ataques de Hooke:

En último lugar, yo voy a dedicarme a una expresión casual, que insinúa más certeza de muchas cosas, de la que yo he prometido, i.e. la certeza de las *proposiciones matemáticas*. Yo dije, en verdad, que la ciencia de los colores era matemática, y tan certera como cualquier otra parte de la óptica; pero ¿quien no sabe que la óptica, al igual que otras ciencias matemáticas, dependen tanto de las ciencias físicas como de las demostraciones matemáticas? Y la certeza absoluta de una ciencia no puede exceder la certeza de sus principios. Ahora la evidencia, por medio de la cual yo aseveré las proposiciones de los colores, es desde los experimentos en las siguientes palabras: que las proposiciones por si solas no pueden ser estimadas mas que como principios físicos de una ciencia. Y estos principios deben ser tales,

¹⁰⁷ Newton: *Óptica* p. 118.

que en ellos un matemático pueda determinar todos los fenómenos de los colores, que puedan ser causados por refracción, y que por discutir y demostrar después la manera, y cuanto, esas refracciones separan o mezclan los rayos, en los cuales los colores originales son inherentes; Yo supongo que la ciencia de los colores va a ser matemática, y tan certera como cualquier otra parte de la óptica. Y que esto puede ser hecho, yo tengo buenas razones para creer, porque siempre desde que yo me di cuenta de estos principios, yo he, con éxitos constantes en los eventos, usándolos para estos propósitos.¹⁰⁸

Newton dice que ciertas proposiciones acerca de los colores son derivadas de los experimentos, y éstas, constituyendo los principios de la ciencia, son de tal tipo, que demostraciones matemáticas pueden extrapolarse desde ellas a todos los fenómenos de la refracción de los colores.

Nuestro propósito es trazar la cantidad y las propiedades de esta fuerza [atracción] desde los fenómenos y aplicar lo que hemos descubierto a algunos casos simples, como principios, por los cuales, de manera matemática, nosotros podemos estimar los efectos en otros casos involucrados. Para esto sería sin fin e imposible traer cada caso particular a la observación directa e inmediata. Decimos, de modo matemático, para evitar cualquier pregunta acerca de la naturaleza o cualidad de esta fuerza, la cual nosotros no entenderíamos que se determinara por cualquier hipótesis.¹⁰⁹

Ahora veamos un pasaje del *Óptica* donde trata su método:

No considero que estos principios sean cualidades ocultas, supuestamente derivadas de las formas específicas de las cosas, sino que son leyes generales de la naturaleza por la que se forman las cosas mismas y cuya verdad se nos aparece por los fenómenos, aun cuando sus causas aún no hayan sido descubiertas. Estas cualidades son manifiestas y sólo sus causas son ocultas. Los aristotélicos dieron el nombre de cualidades ocultas no a las manifiestas, sino sólo a aquellas que suponían ocultas en los cuerpos, siendo causas desconocidas de fenómenos manifiestos, tales como serían las causas de la gravedad y de las atracciones eléctricas y magnéticas, así como de las fermentaciones, si supusiésemos que esas fuerzas o acciones surgiesen de cualidades desconocidas para nosotros e incapaces de ser descubiertas y hechas manifiestas. Tales cualidades ocultas ponen una barrera al desarrollo de la filosofía natural, por lo que han sido rechazadas en los últimos años. Decir que todo tipo de cosas está dotado de una cualidad oculta específica

¹⁰⁸ Carta a Oldenburg apud Burt: *The Methaphysical Foundations of Modern Science* p. 216.

¹⁰⁹ Newton: *Principia Motte* Vol III. p.3.

por la que actúa y produce efectos manifiestos equivale a no decir nada. Sin embargo, derivar dos o tres principios generales del movimiento a partir de los fenómenos, para decir a continuación cómo se siguen de esos principios manifiestos las propiedades y acciones de todas las cosas corpóreas, habría de constituir un gran paso en filosofía, aunque las causas de esos principios aún no se hubieran descubierto. Por tanto, no tengo ningún escrúpulo en proponer los principios del movimiento anteriormente mencionado, puesto que son de una aplicación general, aun cuando sus causas estén aún por descubrir.¹¹⁰

Newton aceptaría que las leyes tuvieran excepciones pero no que la ciencia estuviera llena de hipótesis. Cualquier cosa que no se deduce de los fenómenos debería de llamarse hipótesis y las hipótesis, como ya vimos, no tienen lugar en la ciencia, especialmente aquellas que pretenden explicar la naturaleza y las causas de los fenómenos del movimiento, ya que tales explicaciones no son susceptibles de experimentación; pero los científicos lo que deben buscar es como actúa, no que es. Para Newton la ciencia deberá de establecer leyes matemáticas que rigen el comportamiento de la naturaleza --leyes deducidas de los fenómenos y que puedan ser verificadas en los mismos fenómenos-- cualquier cosa extra debería de sacarse de la ciencia. En este sentido, la ciencia llegaría a ser un conjunto de verdades acerca del mundo natural. Con esta conexión de las matemáticas con los experimentos, Newton pretendía que la certeza de la primera se impusiese sobre el segundo, sin perder el referente empírico. De lo que la ciencia sería exactitud en la aproximación de los procesos del mundo natural.

¹¹⁰ Newton; *Óptica* ibid.

Una vez analizados los aspectos experimentales y matemáticos del pensamiento de Newton, podemos plantear una pregunta general: cuál es, para Newton, el objetivo de la ciencia.

2.9 Teleología

Cuando se analiza el contenido de los *Principia*, nos encontramos con Newton, el científico, el físico y el matemático, y casi no con el Newton teólogo. Rastros de este último aparecen en muy escasos lugares; de hecho, en dos. El primero, es una referencia lacónica en el libro tercero de la primera edición de los *Principia* en el cor. 5 de la prop. VII, teo. VIII. Se lee allí: "Por tanto Dios situó a los planetas a diferentes distancias del Sol para que cada uno, según el grado de densidad, disfrutase de un grado mayor o menor de calor solar." En las ediciones subsecuentes, Newton colapsa el corolario 1 y 2 en el 1 y elimina la referencia directa a Dios pero no una indirecta. Con esta nueva numeración, en el corolario 4 dice: "...había que situar a distintas distancias del sol a los planetas para que cada uno ..."¹¹¹

Como si tratase de compensar el haber quitado esa referencia a Dios, en la segunda edición de los *Principia* --publicada en 1713, cuando iba a cumplir setenta y un años--, Newton decidió cerrar su gran obra con unas páginas dedicadas a la divinidad. Se trata del Escolio General, en el que Newton pretendía poco menos que definir a Dios. Dado que la caracterización de el Dios newtoniano ya la

¹¹¹ Newton: *Principia* nota 6 p. 637.

hicimos en el apartado 1.3 prosequiremos con la relación que tiene este Dios de acción constante en el mundo, omnipresente y todopoderoso, con su creación. Newton afirma que:

Tras considerar todas estas cosas, me parece muy probable que Dios halla creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al final para el que fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualquiera cuerpos porosos formados a partir de ellas. Tan duras incluso como para no gastarse ni romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo que el mismo Dios ha hecho uno en la primera creación. En tanto en cuanto las partículas permanezcan enteras, puedan formar cuerpos de una y la misma naturaleza y textura en todo momento. Sin embargo, si se gastasen o rompiesen en pedazos, la naturaleza de las cosas que de ellas depende habría de cambiar. El agua o la tierra formadas de viejas partículas gastadas o de fragmentos de partículas no habría de prestar la misma naturaleza y textura que el agua y la tierra formadas desde el principio con partículas enteras. Por consiguiente, puesto que la naturaleza ha de ser perdurable, los cambios de las cosas corpóreas han de ser atribuidos exclusivamente a las diversas separaciones y nuevas asociaciones de los movimientos de esas partículas permanentes, al ser rompibles los cuerpos sólidos, no en el medio de esas partículas, sino allí donde se juntan, tocándose en algunos pocos puntos solamente.

También me parece que estas partículas no sólo poseen una *vis inertiae*, acompañada de las leyes pasivas del movimiento que derivan naturalmente de esa fuerza, sino que también están movidas por ciertos principios activos ...¹¹²

Siendo la acción de esos principios o, más exactamente, la acción de Dios mediante esos principios, lo que da al mundo su estructura y orden, y es esa estructura y orden los que nos permiten reconocer que el mundo es un producto de la voluntad de Dios y no del azar y la necesidad física, la Filosofía Natural se trasciende así misma y nos conduce a Dios:

... con la ayuda de estos principios, todas las cosas materiales parecen haber sido formadas a base de las partículas duras y sólidas antes mencionadas, diversamente asociadas en la primitiva creación por consejo de un agente inteligente, pues corresponde ordenarlas a aquel que las creó. Habiéndolo hecho así, no es filosófico buscar otro origen del mundo o

¹¹² Newton: *Óptica*, Query 31 p.345 ss.

pretender que podría haber surgido del caos por las meras leyes de la naturaleza, y que, una vez formado, podría continuar durante muchas eras gracias a esas leyes. Aún cuando los cometas se muevan por órbitas muy excéntricas en todas direcciones y posiciones, el ciego destino nunca podría haber hecho que los planetas se moviesen en una y la misma dirección, siguiendo órbitas concéntricas, exceptuando algunas irregularidades inconsiderables que podrían deberse a las acciones mutuas de los planetas y cometas entre sí y que pueden aumentar hasta el punto en que el sistema necesite una reforma. Una uniformidad tan maravillosa en el sistema planetario exige el reconocimiento de una voluntad e inteligencia. Lo mismo se puede decir de la uniformidad de los cuerpos de los animales...¹¹³

Y

... no puede deberse más que a la sabiduría y habilidad de un agente poderoso y siempre viviente que, al estar en todas partes, es mucho más capaz de mover con su voluntad los cuerpos que se hallan en su sensorio uniforme e ilimitado, formando y reformando las partes del Universo, de lo que nosotros somos capaces con nuestra voluntad de mover las partes de nuestros cuerpos. Con todo, no hemos de tomar al mundo como el cuerpo de Dios ni a sus diversas partes como partes de Dios. Él es un ser uniforme, carente de órganos miembros o partes estando aquellas criaturas suyas subordinadas a él y a su voluntad. Él no es el alma de ellas, del mismo modo que el alma humana no es el alma de las imágenes de las cosas transportadas por los órganos de los sentidos hasta el lugar de la sensación, donde los percibe mediante su inmediata presencia sin la intervención de una tercera cosa. Los órganos de los sentidos no tienen como misión permitir al alma la percepción de las imágenes de las cosas en el sensorio, sino tan solo se limitan a llevarlas allí. Dios no tiene necesidad de semejantes órganos al estar por todas partes presente en las cosas mismas. Puesto que el espacio es divisible al infinito y la materia no está necesariamente en todas partes, ha de considerarse también que Dios es capaz de crear partículas de materia de diversos tamaños y figuras, en distintas proporciones al espacio y tal vez de distintas densidades y fuerzas, a fin de cambiar con ello las leyes de la naturaleza y formar mundos de distintos tipos en diversas partes del Universo. Al menos no veo nada contradictorio en todo esto,¹¹⁴

concluye Newton, quien podría haber añadido que ya había mostrado en los *Principia*, sin hacer hincapié en ello, que la ley de la atracción del inverso del cuadrado, la ley de este mundo, no es en absoluto la única posible, aunque la más conveniente, y que si Dios lo hubiese querido podría haber adoptado otra.

¹¹³ Newton: *Óptica Query* 31 p.347.

¹¹⁴ Newton: *Óptica Query* 31 p.348

Vemos que Newton defendía la idea de que la Filosofía Natural, debía considerarse como un buen instrumento, aunque no definitivo, en la búsqueda del "conocimiento de la causa primera", que no era otra, por supuesto, que Dios.¹¹⁵ Aparentemente, ese propósito le guió incluso en la composición de su obra magna, *Philosophie Naturalis*.¹¹⁶ En efecto, en una carta que escribió el 10 de diciembre de 1692 a Richard Bentley, a quien se debe el que autorizara la publicación de una segunda edición de los *Principia*, Newton señalaba que

cuando escribí mi tratado acerca de nuestro Sistema [los *Principia*], tenía puesta la vista en aquellos principios que pudiesen llevar a las personas a creer en la divinidad, y nada me alegra más que hallarlo útil a tal fin.¹¹⁷

¹¹⁵ En Cunningham, A.: "How the *Principia* got its name; or taking natural philosophy seriously" se argumenta que toda la Filosofía Natural giraba en torno a este objetivo.

¹¹⁶ Tomando en consideración lo que se dijo en el apartado 1.2, se tiene a Newton totalmente permeado por el espíritu de la investigación de su tiempo; estudiar a Dios a través de sus manifestaciones en el mundo.

¹¹⁷ Westfall: *Never at rest* p.505.

CONCLUSIÓN

La caracterización del método newtoniano nos condujo desde los fenómenos hasta la causa última, Dios. El panorama que se trazó nos fue llevando por los estadios intermedios que se consideraron más importantes y también se trató, con cierta profundidad, algunos puntos necesarios para comprender mejor lo que Newton escribió.

A la luz del análisis de la metodología particular de Newton podemos concluir que no era un simple cuerpo de reglas. La propuesta metodológica de Newton nos indica que por medio del análisis se indaga de los fenómenos a sus causas, hasta la última de ellas; y por medio de la síntesis se corroboran los principios, ya que va desde éstos hasta los fenómenos (2.4). Es de hacerse notar que el regreso, en el análisis, en busca de las nuevas causas, siempre se ve limitado a una última, Dios. Además, tomando en cuenta lo que se dijo en los apartados 2.5 y 2.6, cualquier causa que no cumpla con las condiciones de veracidad impuestas para ser una vera causa, deberá de ser abandonada o considerada como una hipótesis, en el sentido heurístico.

El objetivo del trabajo conjunto del análisis y la síntesis es el de establecer, al mismo tiempo probar, los principios que rigen a la naturaleza. Por medio del análisis se postulan causas para explicar a los fenómenos, y por medio de la síntesis se corroboran estas causas en los fenómenos.

Las Reglas para Filosofar justifican las generalizaciones hechas en las causas que él propone. Newton, en la regla IV (2.5),

está consciente de que las generalizaciones por inducción pueden no considerarse siempre como verdaderas, entonces propone considerarlas como tal hasta que otros experimentos las hagan más precisas o les encuentren excepciones.

Newton quisiera negarles todo rol a las hipótesis, pero está obligado a reconocer que él ha hecho muchas hipótesis en todos sus trabajos, justificando que la única función que deben tener éstas es de guías en la investigación científica. Así, una vez que se han considerado los fenómenos es lícito hacer hipótesis siempre y cuando éstas sean pautas de nuevos experimentos a realizar,¹¹⁸ pero nunca consideraría que la ciencia se quedara llena de hipótesis a verificar. Como vimos en 2.8, la ciencia debe de proceder, según Newton,¹¹⁹ a matematizar estas hipótesis en aras de encontrar las relaciones que nos indiquen la manera de proceder de la naturaleza, con el mayor grado de precisión posible. Él niega, una vez más, que la ciencia establezca las causas metafísicas de los fenómenos, sino que la ciencia sólo establece descripciones. Cuando se decide entre teorías rivales, lo primero en que hay que fijarse es cuál de las descripciones antagonistas es más precisa, después comparar las causas a las que apelan.

Newton, para ofrecer mejores descripciones, se encuentra preocupado por que sus matemáticas no pierdan el referente

¹¹⁸ Y aquí es donde juega un papel importante el diseño de los *experimentum crucis* necesarios.

¹¹⁹ Newton nunca utiliza el término "ciencia" más sin embargo, es a la parte de su obra que hoy se considera científica a lo que se refiere, por lo que considero sus propuestas como pautas metodológicas científicas.

empírico, que le otorga la fuerza para predecir mejor los fenómenos. El método matemático experimental de Newton parecería ser analizable en tres pasos principales.¹²⁰ El primero, la simplificación de los fenómenos por medio de los experimentos, de tal manera que aquellas características de ellos que varían de manera cuantitativa, junto con el modo de variar, podrán ser medidos y definidos. Segundo, la elaboración matemática de tales proposiciones. Este paso expresaría, matemáticamente, la manera en que los principios operan en las relaciones y cantidades que se encontraron en la naturaleza. El tercero, según el cual deberán hacerse más experimentos exactos para: (1) verificar la aplicabilidad de esas deducciones en cualquier nuevo campo y reducirlos a su forma más general; (2) en los fenómenos más complejos, para determinar la presencia y sopesar la de nuevas causas que serían sujetas a tratamiento cuantitativo; (3) en caso de que la naturaleza de tales causas permanezca todavía oscura, sugerir una expansión del método matemático, para así tratarlas con mayor eficacia.

Por último, como se mostró en 2.9, la perfección en la descripción de los fenómenos que se logra al establecer las relaciones que imperan en la naturaleza, solo muestra la perfección de un Ser superior, Dios. Toda la ciencia gira en torno a la demostración de que Dios existe y que se muestra mediante la perfección de las relaciones que encontramos en la naturaleza.

¹²⁰ Idea de Burt, en *The Metaphysical Foundations of Modern Science* p. 222.

La siguiente conclusión a la que se llegó se refiere a las condiciones históricas que responde la metodología de Newton. Un problema muy importante al que se enfrentó fue que no existían criterios bien definidos entre los científicos de la época, acerca de cómo se discutían y objetaban los resultados experimentales, tal como vimos en el 2.5 y 2.6. Este es un punto muy importante, debido a que Newton dedicó un gran espacio para indicarles las pautas a sus críticos de en qué términos deberían de criticarlo, así como qué es lo que se podía criticar. El establecimiento de pautas de justificación universal en la actividad científica, fue uno de los logros más importantes de la ciencia newtoniana.

Se observa que, debido a la agenda de estudios de la Filosofía Natural, no existían, como los concebimos hoy, los límites de estudio y aplicabilidad de cada disciplina. En el trabajo de Newton se puede notar, tal como se vió en el apartado 1.2, excursiones en campos que para nosotros no tienen nada que ver con el tema que se está estudiando. De lo que se concluye que estas incursiones son el reflejo del estudio totalizador de la naturaleza que se hacía bajo la Filosofía Natural, ya que esta manera de estudiar a la naturaleza tenía una agenda muy rica de problemas de diversos tipos con los que se enfrentaba.

La última conclusión que se obtuvo fue que Newton sintetizó algunas prácticas metodológicas de la ciencia precedente. Tal como vimos en los apartados 1.3 y 2.6, la noción de hipótesis en Hooke y Descartes no es la misma. Newton, partiendo de ambas, reformula una propia que le es más útil. También hay una decantación similar

en los conceptos de análisis y síntesis, donde Newton también formula su propia concepción sobre conceptos ya existentes, como se vió en el 2.4.

Finalmente una observación general, este trabajo fue una exploración de los orígenes de la ciencias moderna y las conclusiones a que llegamos brindan una idea de lo complicado que fue el pasar de una área que abarcaba todos los campos, como la Filosofía Natural, a unos estudios parcializados como conocemos ahora a las distintas disciplinas científicas. También este análisis permite observar cómo surgen las pautas, tanto metodológicas como estilísticas, de la ciencia que ahora se practica. Debido a los éxitos de la ciencia newtoniana, todas las ciencias, de alguna manera, se van a ver afectadas, y tratarán, en buena medida, de adoptar los canones principalmente metodológicos establecidos por Newton en sus investigaciones naturales.

Poco a poco, los problemas a los que se enfrentó Newton en su época se fueron resolviendo a través del paso del tiempo de manera satisfactoria. Así, ahora, en la física se establecieron pautas por consenso que rigen, por ejemplo, existen estándares experimentales para el reporte de las incertidumbres en los experimentos. También se encuentran bien definidos los campos de las distintas disciplinas, y es muy diferente, el estudio de la física al de la biología, y aunque se traslapan en algunos temas, siempre es posible diferenciar el aspecto biológico del problema o el físico. Algunos de los aspectos metodológicos que hemos estudiado están ahora vigentes, como el suprimir las hipótesis de las teorías, las leyes

y la matemática, y otros fueron desvinculándose o depurándose como el de la teleología, los *experimentum crucis* y las Reglas para Filosofar.

No podemos negar el importante papel que desempeña, ahora, la herencia metodológica de la investigación de Newton. Estudiar las reglas metodológicas de Newton no sólo nos brinda la dimensión histórica de los problemas, sino nos ayuda a entender mejor nuestra práctica cotidiana como científicos.

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes

Libros

Newton, Isaac: *Principios matemáticos de la filosofía natural*;
Trad. introducción y notas: Eloy Rada; Dos volúmenes; Alianza;
Madrid, 1987.

---: *Principios matemáticos de la filosofía natural*; Trad.
introducción y notas: Antonio Escohotado; 2ª ed; Tecnos;
Madrid, 1997. Del mismo traductor, con las mismas notas y con
el mismo estudio introductorio en ed. Altaya; "Grandes del
Pensamiento" no. 21; Barcelona, 1993.

---: *El Sistema del Mundo*; Trad. introducción y notas de Eloy
Rada; Alianza; 2ª reimpresión; Madrid, 1986.

---: *Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System
of the World*; Trad. Motte, 1729; University of California
Press; tres volúmenes; Berkley, 1962.

---: *Óptica o Tratado de las refracciones, inflexiones y colores
de la luz*; Introducción y notas por Carlos Solís; Alfaguara;
Madrid, 1977.

---: *Opticks*; Basada en la 4ª edición de Londres, 1730;
Dover; Nueva York, 1979.

---: *El Templo de Salomón*; Edición crítica, traducción y estudio
filológico: Ciriaca Morano, Introducción José Manuel Sánchez
Ron; "Clásicos del Pensamiento"; Debate; Madrid, 1996.

Hall, A.R., & Marie Boas Hall (eds.): *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*; Cambridge University Press; Cambridge, 1962.

Artículos

---: "A Serie's of Querie's", *Philosophical Transactions*; 85, 15 de julio de 1672 en B. Cohen; *Isaac Newton's Papers and Letters On Natural Philosophy*; 2ª Ed.; Harvard University Press; Cambridge, 1978.

Contexto Newtoniano

Libros

Burt, E.A.: *The Metaphysical Foundations of Modern Science*; 2ª ed. 6ª reimpresión; Humanities Press International; Atlantic Highlands, 1992.

Cohen, B.: *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*; Alianza, no. 360; Madrid, 1983.

Christianson, Gale E.: *In the Presence of the Creator. Isaac Newton and his Times*; The Free Press; Nueva York, 1984.

Dijksterhuis, E.J.: *The Mecanization of the World Picture*; Princeton University Press; Princeton 1986.

Elena, Alberto: *A hombros de gigantes*; Alianza, no. AU586; Madrid 1989.

Grant, Edward: *La ciencia física en la edad media*; "Breviarios" no. 352; Fondo de Cultura Económica; México, 1983.

Hooke, Roberto: *Micrografía, o algunas descripciones fisiológicas de los cuerpos diminutos realizadas mediante cristales de*

aumento con observaciones y disquisiciones sobre ellas;
Alfaguara; Madrid, 1989.

Koyré, Alexandre: *Estudios de historia del pensamiento científico*;
Trad. Encarnación Pérez Cedeño y Eduardo Bustos; 12ª reim-
presión; Siglo XXI; México D.F., 1995.

---: *Del mundo cerrado al universo infinito*; Trad. Carlos Solís;
9ª ed; México D.F., 1996.

Martínez, Sergio F.: *De los efectos a las causas*; Paidós-UNAM;
México D.F., 1997.

Webster, Charles: *De Paracelso a Newton*; Fondo de cultura económi-
ca; México D.F., 1988.

Artículos

Burstyn, H.L.: "The Deflecting Force of the Earth's Rotation from
Galileo to Newton"; *Annals of Science*; vol. 21 no. 1, 1965.
pp.47-80.

Cunningham, A. "How the *Principia* got its name; or taking natural
philosophy seriously"; *History of Science*; vol. 29, 1991. pp.
377-392

Gabbey, Alan: "Newton and Natural Philosophy" en Olby, R.C.:
Companion to the History of Modern Science; Routledge;
Londres, 1990. pp. 513-526.

Grant, Edward: "Ways to interpret the terms <<aristotelian>> and
<<aristotelianism>> in medieval and renaissance Natural
Philosophy"; *History of Science*; vol. XXV, 1987. pp. 335-358.

Hall, A.R.: "Cartesian Dynamics"; *Archives of the History of Exact
Sciences*; vol. 1, 1960. pp. 172-178.

- Kubrin, D.: "Newton and the cyclical cosmos: Providence and the Mechanical Philosophy"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 28, 1967. pp. 325-346.
- Lenoir, Timothy: "Descartes and the Geometrization of Thought: the methodological background of Descartes' Géométrie"; *Historia Mathematica*; vol. 6, 1979. pp. 355-379.
- Mahoney, M.S.: "Changing Canons of Mathematical and Physical Intelligibility in the Later 17th Century"; *Historia Mathematica*; vol. 11, 1984. pp. 417-423.
- Pycior, Helena M.: "Mathematics and Philosophy: Wallis, Hobbes, Barrow and Berkeley"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 48, 1987. pp. 265-286.
- Ravetz, J.: "The representation of Physical Quantities in Eighteenth Century Mathematical Physics"; *ISIS*; vol. 52, 1961. pp. 7-20.
- Truesdell, C.: "A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 1, 1960. pp. 3-36.
- Wallace, W.A.: "Mechanics from Bradwardine to Galileo"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 32 no. 1, 1971. pp. 15-28.
- Whiteside, D.T.: "Patterns of Mathematical Thought in the later Seventeenth Century"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 1, 1961. pp. 179-388.
- Wilde, C.B.: "Hutchinsonianism, natural philosophy and religious controversy in eighteenth century Britain"; *History of Science*; vol. XVIII, 1980. pp. 1-19.

Wilson, Curtis: "From Kepler's Laws, so called, to Universal Gravitation: Empirical Factors"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 6, 1970. pp. 89-170.

---: "Newton and some philosophers on Kepler's <<Laws>>"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 35 no. 2, 1974. pp. 231- 258.

La Óptica newtoniana

Libros

Bricker, P. y R. Hughes (eds): *Philosophical Perspective on Newtonian Science*; MIT, Cambridge, 1990.

Gillispie, Ch: *The Edge of Objectivity. An Essay in the History of Scientific Ideas*; Princeton University Press; Princeton, 1990.

Sabra, A.I.: *Theories of Light. From Descartes to Newton*; Cambridge University Press; Nueva York, 1981.

Artículos

Bechler, Z.: "Newton's 1672 Optical Controversies: A Study in the Grammar of Scientific Dissent" en Y. Elkana (ed.): *The Interaction Between Science and Philosophy*; Humanities Press; Nueva York, 1974.

Lohne, J.: "Newton's <<Proof>> of the Sine Law and his Mathematical Principles of Colors"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 1, 1962. pp. 389-405.

Ronchi, V.: "Classical Optics is a Mathematical Science"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 1, 1961. pp. 160-171.

Shapiro, A. E.: "Experiment and Mathematics in Newton's theory of color"; *Physics Today*; vol. 37 no. 9, 1984. pp. 34-42.

Westfall, R.: "Isaac Newton's Coloured Circles txixt two Contiguous Glasses"; *Archives of the History of Exact Sciences*; Vol. 2, 1965. pp. 181-196

Los Principia

Libros

Chandrasekhar, S.: *Newton's Principia for the Common Reader*; Clarendon Press; Oxford, 1995.

Cohen B.I.: *Introduction to Newton's Principia*; Harvard University Press; Cambridge, 1978.

De Gandt, François: *Force and geometry in Newton's Principia*; Traducción del francés por Curtis Wilson; Princeton University Press; Princeton, 1995.

Dear, Peter: *Discipline & Expirience*; Chicago University Press; Chicago, 1995.

Harman, P.M. y Alan E. Shapiro: *The investigation of difficult things*; Cambridge University Press; Cambridge, 1992.

Snow, A.: *Matter and gravity in Newton's physical philosophy*; Oxford University Press; Londres, 1926.

Thrower, Norman J.W. (ed.): *Standing on the shoulders of giants. A longer view of Newton and Halley*; University of California Press; Oxford, 1990.

Westfall, Richard S.: *Force in Newton's Physics: The science of dynamics in the seventeenth century*; American Elsevier; Nueva York, 1971.

Artículos

Aoki, Shinko: "The Moon-Test in Newton's Principia: Accuracy of Inverse-Square Law of Universal Gravitation"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 44, 1992. pp. 147-190.

Arthur, Richard: "Space and Relativity in Newton and Leibniz"; *British Journal of the Philosophy of Science*; vol. 44 no. 1, 1994. pp. 219-241.

Brackenridge, Bruce J.: "Newton's Mature Dynamics and the Principia: A Simplified Solution to the Kepler Problem"; *Historia Mathematica*; vol. 16, 1989. pp. 36-45.

Cohen, Bernard I.: "Newton's Third Law and Universal Gravity"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 48 no. 4, 1987. pp. 517-593.

---: "Pemberton's Translation of Newton's Principia, With Notes on Motte's Translation"; *ISIS*; vol. 54, Parte 3, no. 177, 1963. pp. 319-351.

De Gandt, François: "El estilo matemático de los Principia de Newton"; *Mathesis*; vol. 6, 1990. pp. 163-189.

Forster, M.R.: "Unification, Explanation, and the composition of Causes in Newtonian Mechanics"; *Studies in History and Philosophy of Science*; vol. 19 no. 1, 1988. pp. 55-101.

- Garrison, J.W.: "Newton and the relation of mathematics to Natural Philosophy"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 48 no. 4, 1987. pp. 609-627.
- Hawking, S.W.: "Newton's Principia"; en S.W. Hawking y W. Israel: *Three hundred years of gravitation*; Cambridge University Press; Cambridge, 1987. pp. 1-4.
- Herivel, J.W.: "Interpretation of an Early Newton Manuscript"; *ISIS*; vol. 52, 1961. pp. 410-416.
- Lai, Tyrone: "Did Newton renounce infinitesimals"; *Historia Mathematica*; vol. 2, 1975. pp. 127-136.
- McGuire, J.E.: "Atoms and the 'analogy of nature': Newton's third rule of philosophizing"; *Studies in History and Philosophy of Science*; Vol. 1, 1970. pp. 3-58.
- y Tammy, Martin: "Newton's Astronomical Apprenticeship: Notes of 1664/5"; *ISIS*; vol. 76, 1985. pp. 349-365.
- Moulines, C.U.: "¿Axiomatizó Newton la mecánica?"; *Arbor*; vol. 501, 1987. pp. 97-121.
- Navenberg, M.: "Newton's Early Computational Method for Dynamics"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 46, 1993. pp. 221-252.
- Rosenfeld, L.: "Newton and the Law of Gravitation"; *Archives of the History of Exact Sciences*; vol. 2, 1965. pp. 365-386.
- Solís, C.: "La filosofía de la ciencia de Newton" en M. Quintanilla (comp.) *Seminario de teoría de la ciencia (1978-1979)*. Salamanca; Salamanca University Press, 1982.

Stein, S.K.: "Exactly How Did Newton Deal with His Planets?"; *The Mathematical Intelligencer*; vol. 18 no. 2, 1996. pp. 6-11.

Otros temas de interés

Libros

Alexander, H. (ed.): *The Leibniz-Clarke Correspondence*; Manchester University Press; Manchester, 1959.

Brewster, Sir David: *Memories of life, writings, and discoveries of Sir Isaac Newton*; 2 vol; Johnson Reprint Corporation; Nueva York, 1965.

Dobbs, Betty Jo Teerter: *The foundations of Newton's alchemy, or "The hunting of the greene lyon"*. Cambridge University Press; Cambridge, 1975.

Cohen, I.B. y R. S. Westfall (ed.): *Newton*; Norton; Nueva York, 1995.

Guillaumin Godfrey: *Metodología y causas verdaderas en la Filosofía Natural (1672-1859)*; Tesis de Doctorado; UNAM, 1997.

Gjertsen, D.: *The Newton Handbook*; Routledge & Kegan Paul; Londres, 1986.

Madden Edward H. (ed.): *Theories of Scientific Method. The Renaissance through the Nineteenth Century*; "Classics in the History and Philosophy of Science"; Gordon and Breach; Nueva York, 1989.

Manuel Frank, E.: *A portrait of Isaac Newton*; Cambridge University Press; Massachusetts, 1974.

Mandelbaum, Maurice: *Philosophy, science and sense perception*;
Johns Hopkins; Baltimore, 1966.

Westfall, Richard S.: *Never at rest: a biography of Isaac Newton*;
Cambridge University Press, Nueva York, 1980. Existe una
versión corta, traducida por Menchu Gutiérrez, titulada *Isaac
Newton: una vida*; Cambridge University Press; Cambridge, 1996.

Artículos

Birch, Andrea Croce: "The Problem of Method in Newton's Natural
Philosophy"; en Daniel Dahlstrom (ed.): *Nature and Scientific
Method*; Washington, 1991.

Brown, Theodore, M.: "Medicine in the shadow of the *Principia*";
Journal of the History of Ideas; vol. 48 no. 4, 1987. pp. 629-
648.

Davies, Mansel: "Isaac Newton, the Alchemist"; *Journal of Chemical
Education*; vol. 68. no. 9, 1991. pp. 726-727.

Dobbs, B.J.T.: "Newton's Alchemy and His Theory of Matter"; *ISIS*;
vol. 73;1982. pp. 511-528.

Gardner, M.: "Isaac Newton: alchemist and fundamentalist";
Skeptical Inquirer; vol. 20 no. 5, 1996. pp. 13-17.

Gregory, Richard L.: "Alchemy of matter and of mind"; *NATURE*; vol.
342, 1989. pp. 471-473.

Guerlac, H.: "Where the Statue Stood: divergent loyalties to Newton
in the eighteenth century"; en H. Guerlac: *Essays and Papers in
the History of Modern Science*; John Hopkins; Baltimore, 1977.
pp. 131-145.

- y M.C. Jacob: "Bentley, Newton, and Providence"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 30 no.3, 1969. pp. 307-318.
- Horowitz, M.C.: "The Stoic Synthesis of the Idea of Natural Law in Man: four Themes"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 35, 1974. pp. 3-16.
- Harrison, E.: "Newton and the Infinite Universe"; *Physics Today*; Feb., 1986. pp. 24-32.
- Hughes, M.: "Newton, Hermes and Berkeley"; *The British Journal for the History of Science*; vol. 43, 1992. pp. 1-19.
- Jacquette, Dalé: "Aesthetics and Natural Law in Newton's Methodology"; *Journal of the History of Ideas*; Vol. 51, no. 6, 1990. pp. 659-666
- Koertge, Noretta: "Analysis as a method of discovery during the scientific revolution"; en T. Nickles (ed.): *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*; Reidel; Hingham, 1978. pp. 139-157.
- Mandelbrote, Scott: "'A duty of the greatest moment': Isaac Newton and the writing of biblical criticism"; *The British Journal for the History of Science*; vol. 26, 1993. pp. 281-302.
- Marquina, J.E.: "Jeova Sanctus Unus. Teólogo y Alquimista"; *Mathesis*; vol. 6, 1990. pp. 219-253.
- Newman, William: "Newton's *Clavis* as Startkey's Key"; *ISIS*; vol. 78, 1987. pp. 564-574.
- Rogers, G.A.J.: "Locke, Newton and the Cambridge Platonist"; *Journal of the History of Ideas*; vol. XL, no. 2, 1979. pp. 191-205.

- Ruby, J.E.: "The origins of Scientific <<law>>"; *Journal of the History of Ideas*; vol. 47, 1986. pp. 341-359.
- Shaffer, S.: "Newtonianism" en Olby, R.C.: *Companion to the History of Modern Science*; Routledge; Londres, 1990. pp. 610-626.
- Tamny, M.: "Newton, Creation and Perception"; *ISIS*; vol. 59, 1961. pp. 48-58.
- Weinberg, Steven: "Newtonianism and today's Physics" en S.W. Hawking y W. Israel: *Three hundred years of gravitation*; Cambridge University Press; Cambridge, 1987. pp. 5-16.
- Westfall, R.: "Newton's scientific personality"; *Journal of the History of Ideas*; Vol. 48 no. 4, 1987. pp. 551-570.
- Whitt, L.A.: "Absolute Space: Did Newton Take Leave of His (Classical) Empirical Senses?"; *Canadian Journal of Philosophy*; vol. XII no. 4, 1982. pp. 709-724.
- Wilson, David B.: "Herschel and Whewell's version of newtonianism"; *Journal of the History of Ideas*; Vol. 40, 1979. pp. 79-97.
- Zilsel, E.: "The genesis of the concept of physical law"; *The Philosophical Review*; vol. LI no. 3, 1942. pp. 245-279.