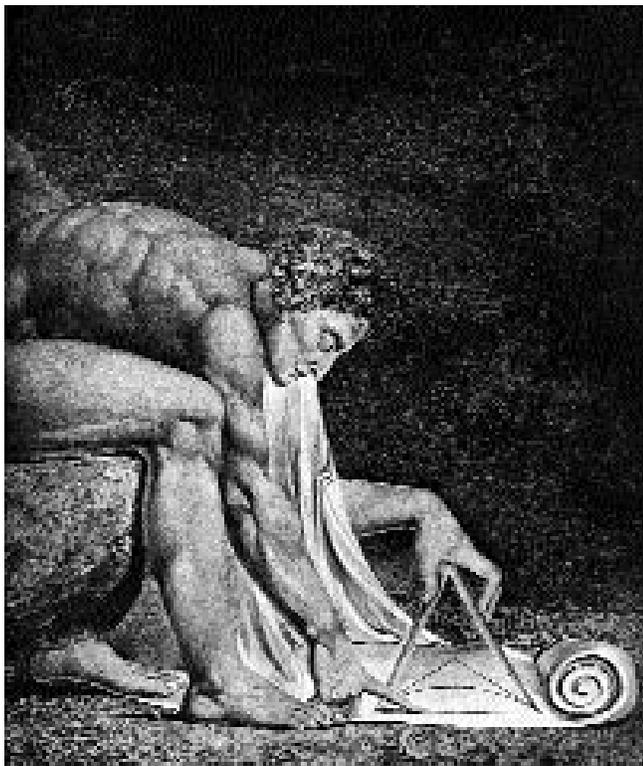


*La metodología de*

# Newton

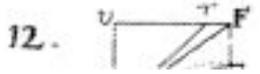
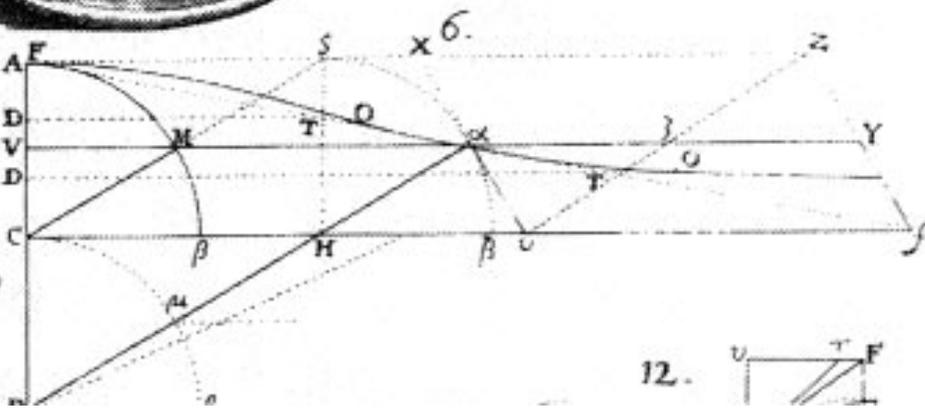
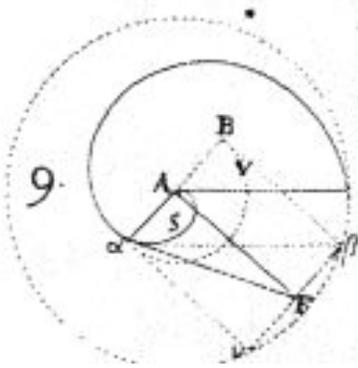
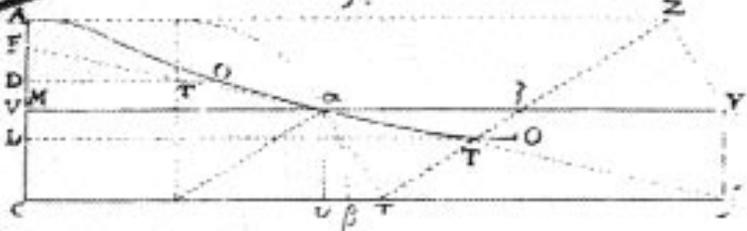
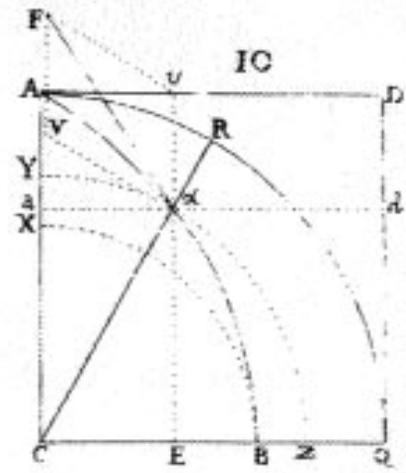
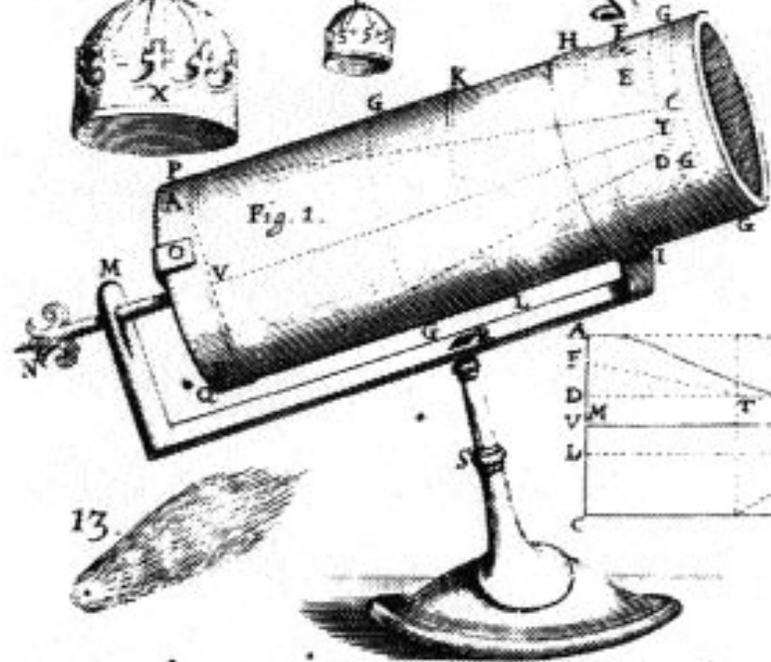
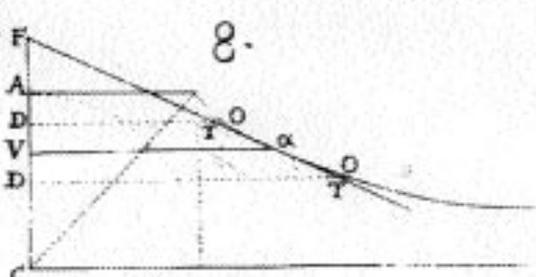
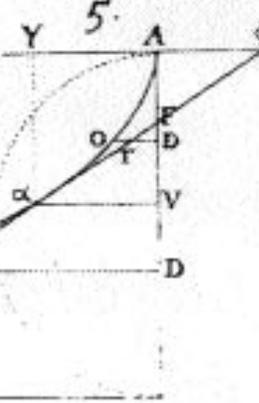
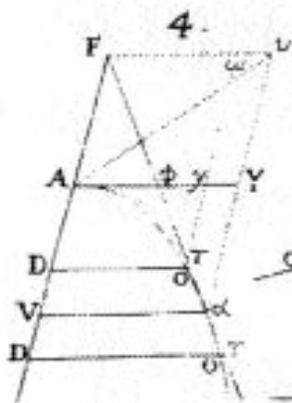


El panorama metodológico al que se enfrenta Newton se puede caracterizar, a grandes rasgos, señalando la inexistencia de patrones aceptados universalmente para la investigación científica. En su aprendizaje formal en Cambridge, Newton tuvo que empezar su formación en libros como el *Physiologiae Peripateticae Libri Sex Cum Commentariis* de Johannes Magirus, que como su nombre lo indica, representaba el legado de la filosofía aristotélica, misma que en los medios universitarios gozaba todavía de gran prestigio. Sin embargo, los estudios autodidactas de Newton lo pusieron en contacto con las dos corrientes que ejercían mayor influencia entre los personajes más relevantes de la época: las herederas intelectuales de Descartes y de Bacon. Mientras que la primera tenía gran importancia en la Europa continental, la segunda gozaba de

plena aceptación en Inglaterra y había servido, incluso, como guía para el diseño de la *Royal Society*.

A rasgos muy generales, las corrientes cartesianas se caracterizaban por la construcción *a priori* de hipótesis que les permitían rechazar la validez de cualquier conclusión contraria, independientemente de su origen, por la simple razón de oponerse al sistema aceptado. Por el otro lado, la *Royal Society* planteaba una concepción que consistía en rechazar la filosofía natural dogmática, que se basa más en el ingenio que en los hechos (en clara referencia al cartesianismo), predicando un baconismo estrecho y antiteórico que lo único que llegó a producir fueron historias naturales, de las que se encuentran llenos los anales de las *Philosophical Transactions*. Lo estrecho de esta concepción se refleja en el caso de la *Micrographia*

JOSÉ MARQUINA





de Robert Hooke, que para que fuera publicada por la *Royal Society* se le solicitó al autor que diera “noticia en la dedicatoria de esa obra a la sociedad de que, aunque le hayan dado licencia, con todo ello no abrazan teoría alguna ni se ha de pensar que así sea, y de que las diversas hipótesis y teorías que él enuncia allí no se exponen como certezas, sino como conjeturas, y que no pretende en absoluto imponerlas o exponerlas al mundo como la opinión de la sociedad”.

La posición de Hooke, asumida como punto intermedio entre el dogmatismo cartesiano y el escepticismo baconiano, planteaba que la verdad de una teoría podía ser establecida tomando todas las hipótesis existentes, para después, por el método de exhaustión, ir las desechando de una en una y así quedarse únicamente con la que hubiese sobrevivido al escrutinio.

Al menos ante estas cuatro posturas (aristotélica, cartesiana, baconiana y hookiana), Newton va a pretender entronizar una nueva concepción para la filosofía natural. En este sentido, con respecto a la concepción de Hooke, Newton señala en una carta a Oldenburg (julio de 1672): “Yo no creo que sea efectivo para determinar la verdad,

el examinar los caminos diferentes por los cuales los fenómenos deberían ser explicados [...] la teoría que yo propongo se me mostró [...] no deduciéndola solamente mediante la confrontación de suposiciones contrarias, sino derivándola de los experimentos”, en donde queda claro que para Newton el camino de comparar la bondad de las hipótesis existentes no puede conducir a la certeza, ya que, incluso, no se puede tener la seguridad de que se dispone de todas las hipótesis posibles y siempre existe la posibilidad de construir otra que sea mejor que la aceptada con anterioridad.

La crítica a los cartesianos se hace evidente en el Prefacio a la segunda edición de los *Principia*, en el que Roger Cotes plantea que “algunos se muestran contrarios a esta física celeste porque contradice las opiniones de Descartes y parece difícil de reconciliar con ellas. Dejemos que disfruten con su propia opinión, pero pidamos que hagan ellos lo mismo, sin negarnos a nosotros la libertad que para sí exigen. Puesto que la filosofía newtoniana nos parece verdadera, concédasenos la libertad de abrazarla y retenerla, siguiendo causas probadas por los fenómenos, en vez de causas sólo imaginadas y sin probar todavía”.

Para Cotes, y claramente para Newton, aquellos “que parten de hipótesis como primeros principios de sus especulaciones —aunque procedan luego con la mayor precisión a partir de esos principios— pueden desde luego componer una fábula ingeniosa, pero no dejará de ser una fábula”.

Esta forma de entender las hipótesis representa para Newton una forma de dogmatismo metodológico que invierte el orden acerca de cómo debe actuarse en el proceso de investigación. La refutación de una teoría legítima, entendida a la manera newtoniana, sólo podrá darse mostrando la insuficiencia de la evidencia experimental a favor o la evidencia experimental que muestre lo contrario.

Las funciones válidas que Newton le asigna a las hipótesis son, por un lado, la de permitirnos explicaciones provisionales, sujetas a escrutinio, que no deben de considerarse como necesariamente verdaderas y, por otro, las hipótesis que se plantean no con una finalidad dogmática sino con una finalidad heurística, como guía en la investigación, indicando nuevos caminos y sugiriendo nuevos experimentos.

Como es obvio en todo el *corpus* de su obra, Newton sí hacía hipótesis, por ejemplo la relativa al carácter corpuscular de la luz, pero negaba que dichas hipótesis fue-

ran la base de su constructo óptico, en particular su teoría de los colores; y fue la incompreensión de este hecho por parte de sus colegas (Hooke, Pardies, Huygens), lo que llevó a Newton a las agrias disputas que sostuvo con ellos a raíz del envío a la *Royal Society* de su tratado sobre la luz y los colores en 1672.

El concepto de hipótesis de Newton era tan diferente al de sus contemporáneos que al publicarse la primera edición de los *Principia*, en el *Journal des Sçavans* en 1688, apareció una reseña del libro en la que el autor, anónimo, planteaba que se trataba de un libro matemático, hipotético y no de filosofía natural. Es curioso constatar que no obstante la pretensión newtoniana de separar certezas de conjeturas, siempre terminaba siendo acusado de hacer hipótesis (en su acepción peyorativa), con la consecuente minimización por lo realizado. Estas interminables controversias ponen de relevancia que en realidad lo que ocurría era que Newton estaba inaugurando una nueva tradición de investigación que se oponía al resto de las tradiciones imperantes, en particular a la cartesiana, y que la batalla entre ellas se daba en todos los niveles; pero en particular en el metodológico, en el que Newton proponía un conjunto de cánones difíciles de entender y mucho más difíciles de aceptar para los seguidores de otras tradiciones.

#### El método de análisis y síntesis

La concepción metodológica newtoniana proviene, como lo dice en su *Óptica*, de las matemáticas, y constituye el método de análisis que “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”. El análisis posibilita el pasar de “los efectos a las causas y de estas causas particulares a las más generales, hasta que el argumento termina en la más general”.

Una vez completado el proceso de análisis se ha de proceder a lo que Newton denomina “el método de composición o síntesis”, que “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 explicaciones”.

En este sentido, la síntesis, por un lado, requiere el análisis y, por otro, lo complementa; de forma tal, que par-



tiendo de los fenómenos se encuentren, a partir del análisis, las causas de dichos fenómenos y a partir de dichas causas asumidas como principios se dé razón del resto de los fenómenos. La síntesis tiene una virtud adicional a la de dar cuenta de otros fenómenos, que es la de poner a prueba el potencial explicativo de las causas.

En realidad, lo que propone Newton es un procedimiento único de análisis y síntesis, en el cual cada uno de dichos procesos opera independientemente y en momentos sucesivos, sin perder por ello el carácter unitario. Esto es relevante en la medida en que, en este punto, Newton se diferencia de Descartes, ya que para éste análisis y síntesis no son fases sucesivas del mismo método, sino dos caminos alternos para llegar a ideas claras y distintas.

El método de análisis y síntesis es planteado por Newton, principalmente, en la cuestión 31 de la *Óptica*, donde se aclara el significado de la aseveración hecha en los *Principia* relativa a que de los fenómenos de movimiento se encuentren las fuerzas responsables de los movimientos y a partir de ellas se describa el resto de los fenómenos, lo cual demuestra que es un planteamiento general aplicable tanto en la investigación que avanza por medio de observaciones directas y experimentos, el caso de la *Óptica*, como en la investigación que plantea explícitamente la matematización de la experiencia, el caso de los *Principia*.

Las diferencias entre el enfoque experimental y el matemático, presentes en la *Óptica* y los *Principia*, lleva a preguntarse acerca del carácter de ambos dentro del esquema de análisis y síntesis que Newton recomienda como método para la filosofía natural y que asegura haber seguido en su trabajo sobre ambas ramas del conocimiento.

### Experimentación y matematización

Es precisamente en el Libro I de la *Óptica* donde puede observarse con mayor claridad la operación del método de análisis y síntesis vinculado con la experimentación. La estructura de la *Óptica* es peculiar, ya que consta de 3 libros en los que la trama se va debilitando, de tal manera que en el Libro I las proposiciones se demuestran a partir de experimentos, el Libro II consta de observaciones y consideraciones respecto a éstas, así como proposiciones que no son demostradas con el rigor del Libro I, para terminar en el Libro III con un conjunto de observaciones que desembocan en la famosas 31 cuestiones, de forma tal que

la *Óptica* empieza probando con base en experimentos y termina preguntando y basándose en especulaciones.

La Parte I del primer libro inicia con una proposición relativa a que “la luz que difiere en color, difiere también en grado de refrangibilidad”, misma que pasa a demostrar experimentalmente a través de dos dispositivos (experimentos 1 y 2) en los que cuenta con obsesivo detalle que tomó “un papel rígido de forma oblonga”, miró “dicho papel a través de un prisma sólido”, giró “hacia arriba el ángulo de refracción del prisma” y así sucesivamente, para concluir que “la luz proveniente de la parte azul y que, tras atravesar el prisma, alcanza el ojo, sufre en semejantes circunstancias una refracción mayor que la luz proveniente de la mitad roja, por lo que es más refrangible”. Una vez hecho esto el experimento dos se concatena con el uno, pues en “torno al antedicho papel enrollé varias veces un hilo sutil de seda negra”, de forma tal que el dispositivo se va complicando y le permite concluir que “a iguales incidencias del rojo y el azul sobre la lente, el azul se refractaba más que el rojo”, por lo que estos “experimentos bastarán por lo que atañe a los colores de los cuerpos naturales, pero, en el caso de los colores producidos por refracción con prismas, se mostrará esta proposición mediante los experimentos que siguen inmediatamente”. Es decir, que lo que ha hecho Newton es plantear una proposición que él ha demostrado, parcialmente, basándose en dos experimentos.

A continuación plantea una segunda proposición concatenada con la anterior. Para la demostración de esta proposición y lo que resta de la primera, Newton plantea tres experimentos (números tres, cuatro y cinco). Como se observa, lo que hace Newton es ir avanzando cautelosamente, concatenando experimentos de forma tal que avanza hasta el punto en el que considera que ha llegado a algo seguro y esto le permite plantear nuevos experimentos que van completando paralelamente la demostración de las proposiciones generales. Todos estos experimentos han sido construidos con la finalidad de demostrar el planteamiento newtoniano de que la luz solar es una mezcla heterogénea de diferentes rayos de luz con diversas refrangibilidades. Ésta es una concepción que se opone a las ideas de corte cartesiano, sostenidas, entre otros, por Hooke, relativas a la composición homogénea de la luz, con diferentes versiones que van siendo derrotadas a través de los diversos experimentos pero que, en principio, pueden seguir surgiendo por medio de mecanismos *ad hoc*.





Por esta razón, el experimento seis es planteado por Newton como el *experimentum crucis*, el cual debe permitir escoger entre las dos únicas causas posibles de que aparezcan colores cuando un rayo de luz solar pasa a través de un prisma, las cuales son que los colores son producidos por el prisma o que se debe a que los colores pertenecen a los rayos de luz desde su origen. Para realizar este experimento, Newton coloca un primer prisma por el que hace pasar un rayo de luz solar dirigiendo la luz hacia otro prisma situado a doce pies de distancia, para concluir que “la luz que, por ser más refractada por el primer prisma, iba a dar al extremo azul de la imagen, volvía a ser más refractada por el segundo prisma que la luz que iba a parar al extremo rojo de la imagen”, lo que implica, como le señala Newton a Hooke, que “rayos de diferentes colores considerados cada uno aparte, a iguales incidencias sufren desiguales refracciones sin haber sido separados, rarificados, o de cualquier manera dilata-

dos”. Ante esta evidencia, Newton está posibilitado para asegurar que el *experimentum crucis* “demuestra tanto la primera como la segunda proposición”.

Como colofón a lo anterior, Newton plantea cuatro experimentos más (números siete, ocho, nueve y diez) para concluir que todo “esto confirma no sólo la primera proposición, sino también la segunda”. Además, en el escolio propone unir dos experimentos para que la conclusión se haga “aún más clara” y sea “manifiesto que la luz del Sol es una mezcla heterogénea de rayos, unos de los cuales son más refrangibles que los otros”.

El método expuesto le permite a Newton, a lo largo de todo el Libro I, demostrar catorce proposiciones y resolver ocho problemas, deducidos de 33 experimentos. El Libro I es un excelente ejemplo del método propuesto por Newton, en el que a partir de los fenómenos se encuentran las causas.

La *Óptica* es un libro peculiar, pues aunque es indiscutiblemente una obra maestra de método experimental asume “la forma externa de una obra matemática, en la medida en que empieza con definiciones y axiomas y procede mediante proposiciones. No obstante, es de destacar que las proposiciones de la *Óptica* no se demuestran en su mayor parte de manera lógica en relación con los axiomas [...] Y lo que resulta aún más significativo, las proposiciones no se demuestran mediante la aplicación de técnicas matemáticas”. La pretensión matemática de Newton se ve confirmada por algunas de sus aseveraciones, en las cuales ante los menores vestigios de matematización asegura que “habrá 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”. En este sentido, “la ciencia de los colores se convierte en una teoría tan genuinamente matemática como cualquier otra parte de la óptica”, aunque hay que destacar que el propio Newton parece darse cuenta de lo exagerado de su pretensión matematizadora cuando señala que “todas estas cosas se siguen de las propiedades de la luz por un razonamiento de tipo matemático” pero “su verdad se pone de manifiesto por los experimentos”, en donde Newton reconoce que el poder de sus aseveraciones ópticas recae en las evidencias empíricas y la matemática juega, mayoritariamente, el papel de método de razonamiento.

## Su método

Para entender el origen de esta aparente tensión entre matemáticas y experimentos, de esta ansia matematizadora, es necesario considerar el hecho de que la *Óptica* es una obra cuya impresión fue retardada por el propio Newton hasta 1704 (una vez muerto Hooke), pero que se remonta a sus escritos de la década de 1670. En el famoso escrito *A New theory about light and colors*, de 1672 y origen de su famosa controversia con Hooke, Newton afirmaba que “un naturalista difícilmente esperaría ver que la ciencia de ellos [los colores] se tornase matemática y, con todo, me atrevo a afirmar que hay en ella tanta certeza como en cualquier otra parte de la óptica”.

Una carta a Oldenburg, en la que Newton pretende dar respuesta a los ataques de Hooke, aclara el papel que asigna tanto a las matemáticas como a los experimentos, cuando señala: “En último lugar, yo voy a dedicarme a una expresión casual que insinúe más certeza de muchas cosas de las 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 ¿quién no sabe que la óptica, al igual que otras ciencias matemáticas, depende 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 sí solas no pueden ser estimadas más que como principios físicos de una ciencia. Y estos principios deben ser tales que en ellos un matemático pueda determinar todos los fenómenos de los colores [...] Yo supongo que la esencia de los colores va a ser matemática, y tan certera como cualquier otra parte de la óptica. Y tengo buenas razones para creer en ello, pues siempre, desde que me di cuenta de estos principios, los he usado con éxitos constantes para estos propósitos”.

De la cita anterior se desprende la forma de operación del método de análisis y síntesis, en el cual los experimentos y las matemáticas no están reñidos, sino que, por el contrario, se conjugan de forma tal que se impone la certeza de las matemáticas pero sin perder el referente empírico. En este sentido, el problema de la *Óptica* es que es un libro inconcluso, en el cual Newton no logró llevar hasta sus últimas consecuencias su proyecto inicial de matematización.

Del proyecto newtoniano de matematizar los estudios ópticos sólo quedó su confesión en la *Óptica*: “no pretendo explicar mediante hipótesis las propiedades de la luz, sino presentarlas y probarlas mediante la razón y los experimentos”.

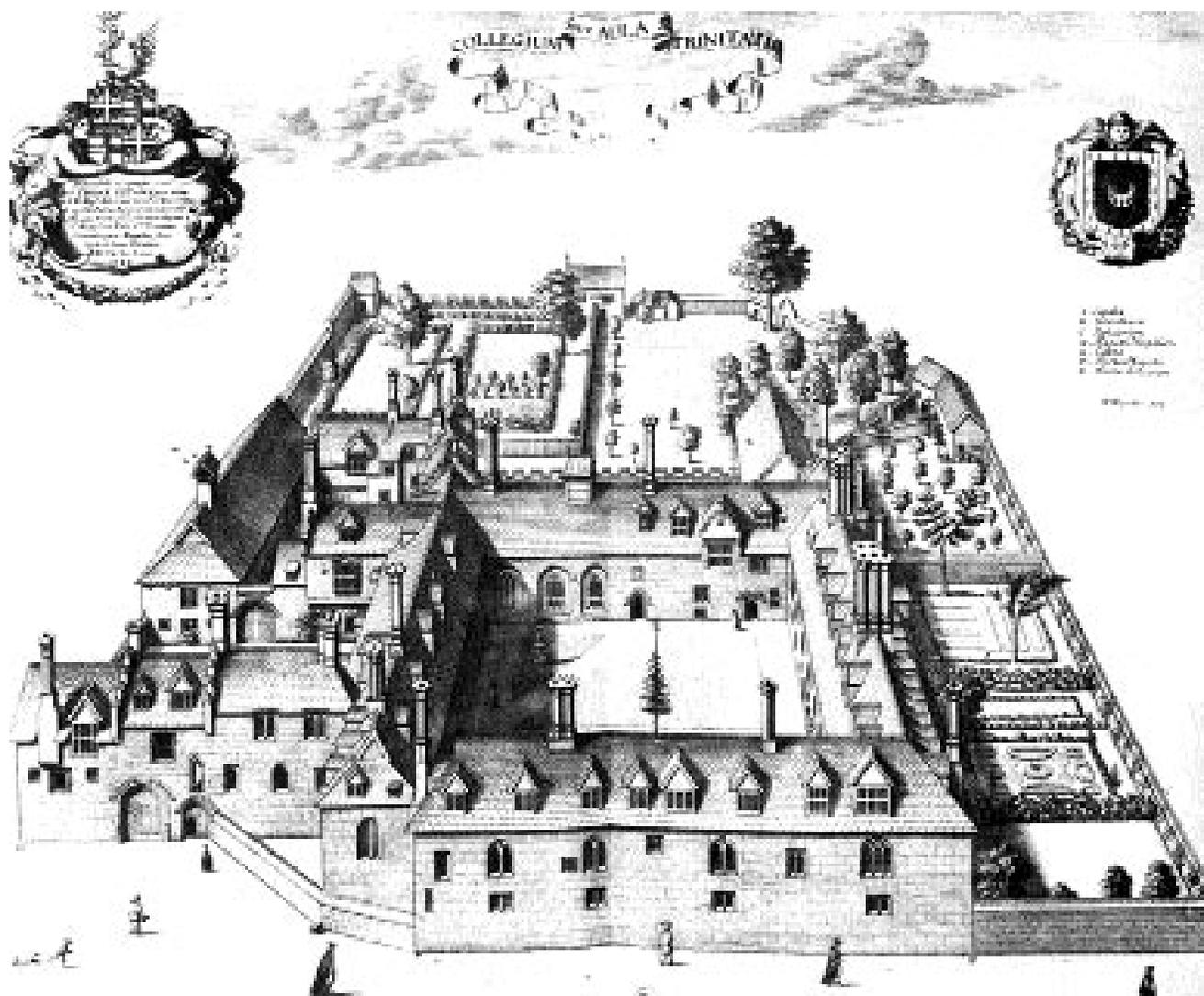
Donde puede apreciarse con toda claridad el papel que le asignaba Newton a las matemáticas es en los *Principia*, que desde su título completo, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, explicita el objetivo del libro. En el prefacio a la primera edición, Newton señala que “constituye un título de gloria para la geometría el hecho de que a partir de esos pocos principios, recibidos de otra procedencia, sea capaz de producir tantas cosas. Por consiguiente, la geometría basada en la práctica mecánica no es sino aquella parte de la mecánica universal que propone y demuestra con exactitud el arte de medir. Pero como las artes manuales se emplean principalmente en el movimiento de cuerpos, resulta que la geometría se refiere habitualmente a su magnitud, y la mecánica a su



movimiento. En este sentido, la mecánica racional será la ciencia de los movimientos resultantes de cualesquiera fuerzas, y de las fuerzas requeridas para producir cualesquiera movimientos, propuestas y demostradas con exactitud [...] Pero yo considero la filosofía más que las artes, y no escribo sobre potencias manuales, sino naturales, tomando ante todo en cuenta las cosas que se relacionan con gravedad, levedad, fuerza elástica, resistencia de fluidos y fuerzas semejantes, tanto atractivas como impulsivas; por consiguiente, ofrezco esta obra como principios matemáticos de la filosofía, pues toda la dificultad de la filosofía parece consistir en pasar de los fenómenos de movimiento a la investigación de las fuerzas de la naturaleza, y luego demostrar los otros fenómenos a partir de esas fuerzas”.

La cita anterior esboza el proyecto de los *Principia*, mismo que empieza con un conjunto de definiciones en

las que establece conceptos tales como masa, cantidad de movimiento, fuerza impresa, fuerza centrípeta y otras ocho definiciones en total. Enseguida viene un escolio en el que se plantean las ideas relativas al espacio, tiempo y movimiento absolutos, para pasar, con sólo una breve discusión de cada una de ellas, a enunciar de manera axiomática los tres axiomas o leyes de movimiento. Las leyes vienen acompañadas de seis corolarios, de los cuales los dos primeros están dedicados a mostrar la composición de las fuerzas, entendidas éstas en sentido vectorial. Ya desde estos corolarios, Newton empieza a plantear los principios matemáticos necesarios para el quehacer de la filosofía natural, para terminar esta especie de introducción con un escolio. Inmediatamente vienen los tres libros que componen los *Principia*. Los Libros I y II se proponen tratar aspectos puramente matemáticos,





que a decir de Newton posibilitan “fundamentar nuestros razonamientos en asuntos filosóficos”, ilustrando su aplicación “con algunos escolios filosóficos, proporcionando una descripción de aquellas cosas que tienen una naturaleza más general y sobre las que parece apoyarse principalmente la filosofía”.

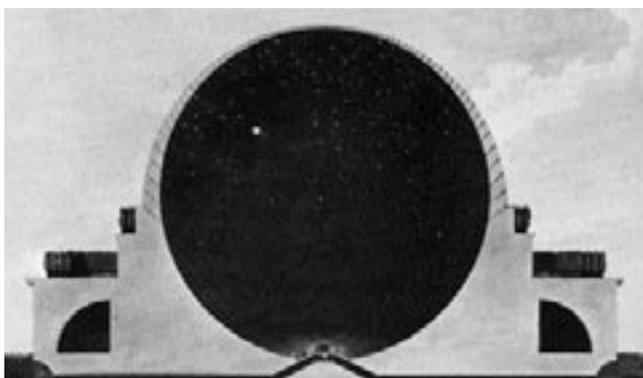
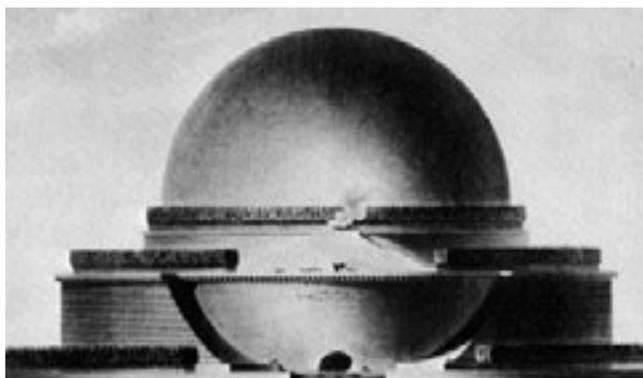
Los Libros I y II representan la construcción de una extraordinaria maquinaria matemática que en el Libro III entrará en funcionamiento, de forma tal, que a partir de los fenómenos celestes se deduzcan las fuerzas de la gravedad, responsables de dichos fenómenos, y a partir de dichas fuerzas se dé razón de otros fenómenos tales como los movimientos de los planetas, los cometas, la Luna y las mareas, lo cual representa el método de análisis y síntesis en su más brillante y completa exposición.

La separación entre matemáticas y filosofía natural le permite a Newton explorar las consecuencias matemáticas relativas a posibles condiciones físicas sin tener la obligación de entrar en el análisis de la realidad física de los supuestos. La naturaleza cuasifísica de las matemáticas newtonianas se basa en el hecho de crear contrapartidas matemáticas ideales que fácilmente se pueden poner en relación con las condiciones reales que provienen de la observación, haciendo las acotaciones pertinentes.

Al operar de esta manera, Newton pretendía evadir las posibles críticas a sus conclusiones, sin atacar, primeramente, las premisas, pero como éstas eran estrictamente matemáticas, eran inatacables, sin embargo, desafortu-

nadamente para él, fue atacado en sus conclusiones, omitiendo las premisas.

Como ejemplo de esta forma de aproximación matemática al mundo físico, baste ver la introducción a la Sección XI del Libro I, en la que Newton aclara que ha “estado exponiendo las atracciones de cuerpos hacia un centro inmóvil, aunque muy probablemente no exista cosa semejante en la naturaleza de las cosas”. Una vez resuelto este problema, que es una primera idealización de lo que ocurre en el mundo real, Newton propone avanzar hacia una situación más compleja en la que “si hay dos cuerpos, ni el atraído ni el atrayente se encuentran verdaderamente en reposo [...] si existen más cuerpos que, o bien están atraídos por un cuerpo, atraído a su vez por ellos, o que se atraen todos mutuamente, entre sí, tales cuerpos se moverán de modo tal entre sí que su centro común de gravedad se encontrará o bien en reposo o se moverá uniformemente hacia adelante en línea recta”. Para el planteamiento de esta nueva situación, Newton ha utilizado básicamente la tercera ley (de ahí el carácter cuasi físico al que hice referencia), pero sigue trabajando en un constructo de tipo matemático abstraído de la naturaleza, pero constructo matemático a fin de cuentas, como se esfuerza en dejar claro al señalar que “pasaré ahora a tratar el movimiento de cuerpos que se atraen los unos a los otros, considerando las fuerzas centrípetas como atracciones, aunque en estricto rigor físico, pudieran llamarse más apropiadamente impulsos. Pero estas proposiciones deben considerarse puramente matemáticas: en esta me-



dida, prescindiendo de cualesquiera consideraciones físicas, utilizo un discurso llano para hacerme comprender mejor por un lector matemático”. Los resultados matemáticos que demuestra enseguida, son utilizados en el Libro III, ya que como señala en el escolio a la Sección XI, la forma de avanzar debe ser tal que en “matemáticas hemos de investigar las cantidades de las fuerzas con su proporción consiguiente en cualesquiera condiciones supuestas; luego, cuando descendamos a la física, compararemos esas proporciones con los fenómenos para poder conocer qué condiciones de esas fuerzas responden a las diversas clases de cuerpos atractivos. Partiendo de ello podremos argumentar con mayor seguridad sobre las especies físicas, las causas y las proporciones de las fuerzas”.

Como se puede observar, los *Principia* avanzan con base en constructos idealizados que van complicándose, de forma que las proposiciones demostradas pueden, eventualmente, ser trasladadas al mundo de los fenómenos, aplicándole a éstos las consecuencias derivadas del tratamiento puramente matemático.

En el Libro II, Newton empieza a analizar los problemas relativos a los fluidos para, una vez caracterizados éstos, sus movimientos, y en particular el movimiento circular de los mismos en la Sección IX, llegar en la Proposición LII, Teorema XL, al análisis de vórtices, lo cual le permite “investigar las propiedades de los vórtices con el fin de determinar si los fenómenos celestes pueden explicarse recurriendo a ellos”. Evidentemente, todo este edificio conceptual va encaminado no a la validación matemática de una concepción por la vía de los fenómenos, sino, por el contrario, a la refutación de un planteamiento específico, el modelo cosmológico cartesiano.

Una vez que, de acuerdo con su metodología, Newton desecha los vórtices cartesianos en tanto que teoría explicativa, el Libro III está dedicado a la construcción y puesta en marcha de la teoría de la gravitación. Ya desde la Proposición II, Teorema II podemos ver en funcionamiento el método de demostración matemática newtoniana, cuando al demostrar dicha proposición señala: “La primera parte de la Proposición se desprende manifiestamente del Fenómeno V y la Proposición II, Libro I; la última del Fenómeno IV y el Corolario VI, Proposición IV del mismo Libro”.

Como se puede observar de este ejemplo, la pretensión es demostrar a partir de los fenómenos, utilizando todo el aparato matemático construido con anterioridad.

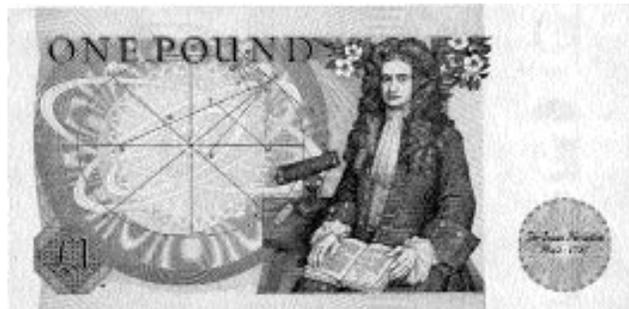
## Conclusiones

Siguiendo este método de estructuración paulatina, Newton planteará su principio de gravitación universal formulado como gravitación de todos los cuerpos entre sí y de las partes con los todos y las partes con las partes y la que, si no es percibida en los objetos que nos rodean, es porque “la gravitación hacia estos cuerpos es a la gravitación hacia toda la Tierra como estos cuerpos son a toda la Tierra, la gravitación hacia ellos tiene que ser muy inferior a lo que nuestros sentidos pueden observar”.

Asimismo, Newton muestra que le es claro que uno es el mundo ideal con simplificaciones y otro el mundo real, en el cual hay que hacer consideraciones en torno a no tomar en cuenta, en el análisis, determinados elementos, siempre y cuando dichos elementos produzcan efectos que pueden despreciarse, pues hay otros casos en los que “la acción de Júpiter sobre Saturno no puede ignorarse” por lo que “el error en su movimiento en torno al Sol [...] puede casi evitarse [...] situando el foco inferior de su ór-

bita en el centro común de gravedad de Júpiter y el Sol”. De lo anterior se observa que Newton se percata de que al resolver problemas concretos será necesario aceptar el carácter aproximado de los resultados, pues como señala en *De Motu* (borrador de los *Principia*), “considerar simultáneamente todas estas causas de movimiento y definir estos movimientos mediante leyes exactas que permitan un cálculo apropiado excede, si no me equivoco, la fuerza de todo el entendimiento humano”. La distinción que traza Newton entre el mundo matemático, en el cual, por ejemplo, las leyes de Kepler son exactas, y el mundo físico, en el cual sólo son aproximaciones, es uno de los caracteres revolucionarios de la dinámica celeste newtoniana.

La gravitación le permite a Newton, asumiéndola como principio, explicar el resto de los fenómenos, tales como el comportamiento de la Luna, de las mareas, de la precesión de los equinoccios, así como de los cometas, con lo que completa el proceso de análisis y síntesis que había anunciado en el prefacio a la primera edición. 



José Marquina  
Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Newton, I. 1962. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press. Berkeley.  
Newton, I. 1982. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural y su Sistema del Mundo*. Editora Nacional, Madrid.  
Newton, I. 1977. *Óptica*. Alfaguara, Madrid.  
Hall, A. R. y M. B. Hall. 1978. *Unpublished Scien-*

*tific Papers of Isaac Newton*. Cambridge University Press. Cambridge.

Cohen, I. B. y R. S. Westfall (eds) 1995. *Newton*. A Norton Critical Edition. W. W. Norton, Nueva York, Londres.

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

Cohen, I. B. 1983. *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Alianza Universidad, Madrid.

Koyré, A. 1965. *Newtonian studies*. Harvard University Press, Cambridge.

Westfall, R. 1996. *Never at Rest*. Cambridge University Press, Cambridge.

Shapiro, A. E. 1984. “Experiment and mathematics in Newton's theory of color”, en *Physics Today*, vol. 37, núm. 9, pp. 34-42.

### IMÁGENES

P. 4: William Blake, Newton. P. 5: Nuevo tipo de telescopio inventado por Mr. Issac Newton, 1672. P. 6: John-Adam Houston, Newton efectuando su famoso experimento, 1870. P. 7: *Mathematical Elements of Natural Philosophy*, experimento de la luz con el prisma, Londres, 1747. P. 9: G. Bickham, grabado, 1732. P. 10: Giovanni Battista Pittoni, Monumento alegórico a Issac Newton, 1727-1730. P. 11: William Kent, tumba de Issac Newton en la Abadía de Westminster, construida en 1731 (los niños en el sarcófago juegan con prismas). P. 12: Trinity College, Cambridge, grabado de 1675. P. 13: Newton y la manzana, dibujo japonés de 1869; grabado del siglo XIX; grabado cromolitográfico, ca. 1900. P. 14: V. L. Boullé, proyecto de cenotafio a la memoria de Newton, 1784. P. 15: Billeto de una libra inglesa, 1970.