



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN CSH

LA TRADICIÓN DE INVESTIGACIÓN
NEWTONIANA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN HUMANIDADES
(HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA)

P R E S E N T A

JOSÉ ERNESTO MARQUINA FÁBREGA

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARIO CASANUEVA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN CSH

LA TRADICIÓN DE INVESTIGACIÓN
NEWTONIANA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN HUMANIDADES
(HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA)

PRESENTA

JOSÉ ERNESTO MARQUINA FÁBREGA

Número de Matrícula 98380828

DIRECTOR DE TESIS



DR. MARIO CASANUEVA

MÉXICO, D.F.

2003

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	1
<i>Capítulo I</i> <i>Laudan y las Tradiciones de Investigación</i>	
<i>Introducción</i>	3
<i>Las Tradiciones de Investigación</i>	4
<i>Capítulo II</i> <i>La Metodología Newtoniana</i>	
<i>Introducción</i>	24
<i>II.1 Los Fenómenos</i>	25
<i>II.2 El Método de Análisis Síntesis</i>	29
<i>II.3 Experimentación y Matematización</i>	31
<i>II.4 Las Hipótesis</i>	43
<i>II.5 Las Reglas para Filosofar</i>	48
<i>Capítulo III</i> <i>La Axiología Newtoniana</i>	
<i>Introducción</i>	61
<i>III.1 La Alquimia y la Teología Newtonianas</i>	62
<i>III.2 La meta de crear un patrón para la investigación en Filosofía Natural</i>	76
<i>III.3 La meta de resolver problemas</i>	85
<i>Capítulo IV</i> <i>La Teoría Newtoniana de los Principia</i>	
<i>Introducción</i>	111
<i>IV.1 Estructura de los Principia</i>	111
<i>IV.2 La Matemática de los Principia</i>	115
<i>IV.3 Los Absolutos Newtonianos</i>	123

<i>IV.4</i>	<i>Las Leyes de Newton</i>	<i>136</i>
<i>IV.4.1</i>	<i>Consideraciones generales</i>	<i>136</i>
<i>IV.4.2</i>	<i>La Primera Ley</i>	<i>138</i>
<i>IV.4.3</i>	<i>La Segunda Ley</i>	<i>142</i>
<i>IV.4.4</i>	<i>La Tercera Ley</i>	<i>147</i>
<i>IV.5</i>	<i>La Gravitación Universal</i>	<i>151</i>
 <i>Capítulo V</i>		
<i>La Tradición de Investigación Newtoniana</i>		
	<i>Introducción</i>	<i>172</i>
	<i>La Tradición de Investigación Newtoniana</i>	<i>172</i>
	<i>Conclusiones</i>	<i>188</i>
	<i>Bibliografía</i>	<i>190</i>

INTRODUCCIÓN

Pocos científicos han gozado, desde su tiempo hasta nuestros días, del reconocimiento universal que se le asigna a Isaac Newton. En palabras de Einstein, a "... un hombre tal sólo se le puede entender como un escenario en el que tuvo lugar la lucha por la verdad eterna"¹. La legendaria manzana de Woolsthorpe sólo tiene parangón con la manzana bíblica, origen de nuestras desgracias y también, para ser justos, de nuestra condición humana.

Esta popularidad, no exenta de mitificaciones, ha provocado que los estudios acerca de la vida y obra de Newton, sean prácticamente innumerables. Parecería ser que hacer un estudio más sobre la obra de Newton es una tarea sin sentido y sin embargo ése es el objetivo del presente trabajo, en el que pretendo analizar las diversas facetas del discurso newtoniano desde la perspectiva de Laudan, ya que considero que este autor ha planteado, en *Progress and its Problems* y *Science and Values*, un concepto, el de Tradiciones de Investigación con estructura reticular, que posibilita, a través de los tres niveles (metodológico, axiológico y teórico) que las componen, el desmenuzamiento de los elementos que conforman lo que podríamos denominar el newtonismo de Newton, para diferenciarlo de los newtonismos ulteriores, y corroborar si las relaciones entre los niveles se da de acuerdo con la red triádica de justificación, a la que se refiere Laudan en *Science and Values*. En este sentido, y siguiendo a Laudan, el estudio de Newton, como el de cualquier otro caso histórico, no pretende ilustrar las tesis filosóficas de Laudan sino que, por el contrario, debe de servir para ponerlas a prueba.

Con esta finalidad, el presente trabajo está estructurado de la siguiente manera:

En el Capítulo I se analiza el planteamiento laudaniano relativo a las Tradiciones de Investigación y en particular la idea de las Tradiciones de Investigación con estructura reticular.

En el Capítulo II se discuten los elementos centrales que componen la metodología newtoniana.

En el Capítulo III se plantean cuáles eran las metas del discurso newtoniano.

En el Capítulo IV se analiza la teoría newtoniana en los *Principia*.

¹ Einstein, A., (1950), p. 219.

En el Capítulo V se discute la pertinencia del modelo laudiano para el caso de Newton y se hace una propuesta de modificación a la red triádica, para convertirla en una red tetraédrica.

Por último, se presentan las conclusiones de este trabajo y se plantean las posibles líneas de investigación a futuro.

CAPÍTULO I

Laudan y las Tradiciones de Investigación

Introducción

A raíz de la aparición, en 1962, de *The Structure of Scientific Revolutions*², de Thomas S. Kuhn, se empezaron a proponer diversas concepciones acerca de la ciencia, como alternativas a la concepción filosófica dominante en la época, el positivismo (o empirismo) lógico.

En este sentido aparecieron, además de la de Kuhn, las propuestas de Lakatos³, Feyerabend⁴, Shapere⁵, Stegmüller⁶ y Laudan⁷, por citar sólo los más conocidos que, independientemente de las diferencias entre ellas, coinciden en su rechazo a las tesis principales del positivismo lógico, por la incapacidad de éstas para responder, efectivamente, a la práctica científica y a la historia de la ciencia. A decir de Pérez Ransanz, los rasgos fundamentales de dichas concepciones postempiristas de la ciencia son:

- "1.- La historia de la ciencia es la principal fuente de información para construir y poner a prueba los modelos sobre la ciencia...
- 2.- No hay una única manera para organizar conceptualmente la experiencia...
- 3.- Las teorías científicas se construyen y se evalúan, siempre, dentro de marcos conceptuales más amplios...
- 4.- Los marcos conceptuales mismos cambian...
- 5.- La ciencia no es una empresa totalmente autónoma...
- 6.- El desarrollo de la ciencia no es lineal ni acumulativo...
- 7.- La ciencia es una empresa cuya racionalidad es imposible determinar *a priori*...
- 8.- Los modelos de desarrollo científico no tienen una base neutral de contrastación"⁸.

² cfr. Kuhn, T.S., (1962); v.e. Kuhn, T.S., (1971).

³ cfr. Lakatos, I., (1970) en Lakatos, I. and Musgrave, A., (eds.), (1970), pp. 91-196; v.e. Lakatos, I., (1975), en Lakatos, I. y Musgrave, A., (eds.), (1975), pp. 203-343.

⁴ cfr. Feyerabend, P.K., (1975).

cfr. Feyerabend, P.K., (1981).

⁵ cfr. Shapere, D., (1984).

⁶ cfr. Stegmüller, W., (1983).

⁷ cfr. Laudan, L., (1977).

cfr. Laudan, L., (1984).

⁸ Pérez Ransanz, A.R., (1993), pp. 182-183.

Estas características generales son, más o menos, compartidas por los autores citados con anterioridad, difiriendo en los aspectos relativos tanto a la estructura como a la forma de funcionamiento de los diversos marcos conceptuales, normalmente denominados unidades de análisis.

En el presente capítulo se analiza la unidad de análisis propuesta por Laudan, la cual gira en torno al concepto de Tradición de Investigación con estructura reticular.

Las Tradiciones de Investigación

De entre todo el caudal de unidades de análisis, llama la atención lo sugerente que resulta la propuesta hecha por Laudan, desde el mismo prólogo de *Progress and its Problems*, al plantear que el análisis del cambio científico debe basarse en el hecho de que la meta fundamental de la ciencia radica en resolver problemas, de forma tal que debe entenderse tanto a la racionalidad como a la progresividad científica, en conexión con la efectividad para cumplir esta tarea⁹. Aunque el planteamiento de que la ciencia es una actividad encaminada a resolver problemas es prácticamente un lugar común, llama la atención que, curiosamente, ni filósofos ni historiadores la consideran, prioritariamente, en sus análisis¹⁰.

Para Laudan, los problemas que abordan las teorías científicas son de dos tipos, empíricos y conceptuales. Con respecto a los problemas empíricos, Laudan señala que éstos son más fáciles de ilustrar que de definir, ya que dado que el mundo siempre es apreciado a través de redes conceptuales que definen, contextualmente, a los problemas válidos, éstos dependen, en gran parte, de las teorías que utilizamos. Por otro lado, la solución de un problema empírico no se reduce, necesariamente, a explicar un hecho. Aún asumiendo que los únicos hechos que posiblemente puedan considerarse como problemas, son los hechos conocidos, existen infinidad de ellos que no constituyen problemas empíricos. Para considerar que algo es un problema empírico, debe considerarse que hay algún tipo de premio al resolverlo. Laudan ejemplifica lo anterior señalando que siempre se ha sabido que la mayoría de los árboles tienen hojas verdes, pero que este hecho no se convirtió en un problema empírico hasta que alguien decidió que era importante explicarlo. De igual manera, algunos problemas que se consideraron importantes en una época, en otra posterior dejaron de serlo, no obstante que el hecho no sufrió modificación alguna¹¹.

⁹ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 4-8.

¹⁰ Digo prioritariamente porque aunque por ejemplo Kuhn y Popper toman en consideración la relevancia de resolver problemas, este elemento no es parte fundamental de su modelo de desarrollo. (cfr. Popper, K., (1972), pp. 166-183 y Kuhn, T.S., (1971), pp. 78-79).

¹¹ Para Laudan, los problemas empíricos pueden ser de tres tipos: Problemas no resueltos, problemas resueltos y problemas anómalos.

Los problemas empíricos no resueltos son aquellos a los que ninguna teoría disponible da una respuesta satisfactoria, e indican líneas a seguir en la investigación. El *status* de éstos es más

Existe otro tipo de problemas que han jugado un papel relevante en el desarrollo de la ciencia y que, sin embargo, han sido ignorados por historiadores y filósofos de la misma. Estos problemas son los que Laudan denomina problemas conceptuales. Como ejemplo de estos problemas puede pensarse en

ambiguo de lo que podría pensarse, pues en muchos casos ni siquiera es claro a que rama de la ciencia pertenecen por lo que, en algunos casos, si una teoría no puede resolver algunos problemas, puede alegar que no pertenecen a su campo. Como ejemplo de lo anterior, Laudan señala que mientras se pensó que los cometas eran fenómenos sublunares, se consideró que pertenecían al ámbito de la meteorología, razón por la cual los astrónomos no tenían necesidad de explicarlos. La transición del problema de los cometas, del ámbito de la meteorología al de la astronomía, en el siglo XVI, jugó un papel relevante como anomalía para la astronomía geocéntrica y como problema resuelto para la heliocéntrica.

Por otro lado, un problema empírico no resuelto, únicamente adquiere el *status* de genuino problema cuando se ha mantenido sin resolver durante mucho tiempo, pero el hecho de que una teoría no lo resuelva, no necesariamente pesa en contra de ella, de manera que la única guía de problemas empíricos relevantes para una teoría particular, es el examen de los problemas que las teorías anteriores o las teorías con las que compite sí han logrado resolver.

Con respecto a los problemas resueltos, Laudan señala que éstos son los que, de acuerdo con un contexto teórico particular, los científicos han dejado de considerar como preguntas sin respuesta, incluso en aquellos casos en los que la solución es aproximada (y sólo se responde correctamente, por ejemplo, para casos ideales), siendo dicha aproximación, en ese momento, más que suficiente. Dado que en la historia de la ciencia los estándares cambian, volviéndose más rigurosos, es necesario considerar que la noción de resolución de problemas es relativa, ya que los criterios para evaluar esta actividad, evolucionan.

En lo que se refiere a los problemas anómalos, Laudan plantea que el concepto de anomalía ha sido resaltado por muchos historiadores y filósofos de la ciencia, tales como Bacon, Mill, Popper y Lakatos. Algunos de ellos han considerado que la solución de anomalías es parte fundamental de la empresa científica y la ausencia de éstas una virtud, de forma tal que ha llegado a plantearse que una anomalía puede ser la responsable del abandono de una teoría y que, por anomalía debe entenderse a aquellos elementos empíricos, que sean lógicamente inconsistentes con la teoría con respecto a la cual son consideradas como tales.

A diferencia de esta visión, Laudan propone que las anomalías, aunque generan dudas, no implican, necesariamente, el abandono de la teoría. El hecho de no abandonar las teorías por la ocurrencia de anomalías, ha sido sostenido por pensadores como Duhem y Quine que han planteado, por un lado, que dado que lo que tenemos es una red teórica (más que una teoría aislada) no podemos, inequívocamente, señalar hacia donde apunta la potencial refutación representada por la anomalía y por otro lado, que dado que nuestro conocimiento no es infalible, tenemos que decidir entre abandonar la teoría o abandonar los datos problemáticos.

Otros pensadores han planteado el problema de las anomalías, bajo una óptica pragmática, desde la cual se observa que prácticamente todas las teorías han tenido (y tienen) anomalías.

Con respecto al problema de las inconsistencias, Laudan señala que estas inconsistencias pueden representar anomalías, pero que no se debe identificar, automáticamente, anomalía e inconsistencia, pues en muchos casos lo que sucede es que una teoría no es inconsistente con los datos sino que hay cosas que no explica, mientras que otras teorías sí lo hacen. Como ejemplo de lo anterior, Laudan hace referencia a las críticas a la mecánica celeste de Newton, la cual no ofrece explicación del hecho de que los planetas se muevan en la misma dirección, fenómeno descrito por teorías astronómicas anteriores, como las de Kepler y Descartes.

Por lo anterior, se considerará a 'p' como problema anómalo para una teoría T, cuando habiendo sido resuelto por alguna teoría en el dominio, no puede ser resuelto por T, de forma tal que si una teoría predice 'O' y se obtiene ' \sim O', esto no lo convierte en anomalía, mientras no exista otra teoría capaz de explicar ' \sim O'.

Una de las actividades más significativas para el cambio científico, es la conversión de anomalías en problemas resueltos, y casi todas las teorías exitosas a lo largo de la historia han basado gran parte de su éxito en este proceso de conversión. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 14-31).

el debate en torno a la obra de Newton, la cual, no obstante su extraordinaria capacidad para resolver problemas empíricos, fue cuestionada en supuestos fundamentales, tales como el espacio absoluto y la acción a distancia. Ejemplos como éste abundan a lo largo de la historia pudiendo definirse, en primera instancia, por exclusión, es decir, que son problemas conceptuales todos aquellos que, siendo problemas (y los debates en torno a ellos lo muestran), no pueden considerarse como problemas empíricos.

Los problemas conceptuales son dependientes de las teorías, en particular, son dependientes de las estructuras de éstas, no poseyendo siquiera la relativa autonomía que pueden, en algunos casos, tener los problemas empíricos, y aunque en realidad existe un espectro continuo entre los problemas empíricos y los conceptuales, el análisis de Laudan se refiere a las partes lejanas de dicho espectro¹².

¹² Para Laudan, los problemas conceptuales pueden ser de dos tipos: externos o internos. El tipo de problemas conceptuales internos más frecuente se refiere a aquellos en los que se encuentra que una teoría es lógicamente inconsistente o incluso autocontradictoria, pero existen otros casos en los que se puede detectar ambigüedad conceptual o circularidad.

La solución de problemas conceptuales internos ha sido un proceso que ha permitido el progreso científico, a través de la clarificación conceptual.

Los problemas conceptuales externos son provocados cuando una teoría entra en conflicto con otra, que los proponentes de la primera consideran racionalmente construida, como sucede cuando una teoría es lógicamente inconsistente con otra teoría aceptada. Como ejemplo de lo anterior, puede verse como la astronomía tolemaica, que resuelve gran cantidad de problemas empíricos que no podía resolver la astronomía de esferas homocéntricas (de Eudoxo y Aristóteles) plantea, a su vez, problemas conceptuales tales como el de la perfección de los movimientos celestes (en círculos y con movimiento circular uniforme).

Otro tipo de problemas conceptuales externos se presenta cuando una teoría, no obstante que es congruente con una teoría aceptada, ésta última la hace poco plausible, de forma tal que es consistente pero no plausible.

Una tercera clase de problemas conceptuales externos, se da cuando una teoría se queda en el nivel de ser meramente compatible con otra teoría aceptada, pero no muestra que dicha compatibilidad aporte algún elemento interesante, como sucede, por ejemplo, cuando una teoría química, compatible con la mecánica cuántica, no utiliza nada de la maquinaria de ésta en su propio discurso. Evidentemente, este tipo de problemas conceptuales sólo es problema en los casos en que la falta de relación entre ambas teorías sea sospechosa a los ojos de los científicos que consideran, en ese momento, que entre ambas debe de existir una relación positiva relevante, que vaya más allá de la simple compatibilidad.

Para Laudan, los problemas conceptuales externos pueden generarse por tres tipos de dificultades: Intracientíficas, normativas y de visión del mundo.

Las dificultades intracientíficas son aquellas cuyo origen se encuentra en las tensiones que se generan entre dos teorías científicas que pertenecen a dominios diferentes, como sucedió, por ejemplo, en el caso de la astronomía copernicana, que sin ser una teoría física en sí misma, implicaba una concepción física que era inconsistente con la física aceptada en ese momento, la física aristotélica. El reconocimiento, por parte de Galileo, de este problema, y su solución a través de la construcción de una nueva física consistente con el planteamiento copernicano, es un buen ejemplo de la fertilidad de este proceso de reconocimiento y solución de un problema, a lo largo de la historia de la ciencia.

Un hecho interesante con respecto a las dificultades intracientíficas es que el problema conceptual que generan afecta a las dos teorías en tensión, creando dudas respecto de ambas, no existiendo, *a priori*, recetas para decidir abandonar o retener una de ellas.

Los problemas conceptuales, comparados con los empíricos, son, en general, más complejos y de más difícil solución, como puede observarse en el caso de Newton, que fue mucho más controvertido por dificultades con respecto a la visión del mundo, que por las imprecisiones en su teoría lunar; pero al igual que en el caso de los problemas empíricos, los problemas conceptuales tienen diferente peso relativo, que tendrá que ver con la capacidad de resolver problemas de las teorías involucradas en la disputa y la antigüedad de la misma¹³.

Ante la pregunta relativa a ¿qué tipos de 'cosas' son las que resuelven problemas?, la respuesta obvia es que esas 'cosas' son las teorías científicas, con todos los procedimientos experimentales que les son propios pero, a decir de Laudan, este análisis debe ser refinado, ya que, por un lado, es necesario recalcar que la evaluación de teorías es, siempre, de carácter comparativo, y por otro, hay que distinguir, al menos entre dos tipos de estructuras proposicionales, a las que usualmente se les denomina como teorías científicas. La primera clase representa a aquellas doctrinas específicas que se utilizan para hacer predicciones experimentales y para dar explicaciones detalladas de algunos fenómenos naturales (efecto fotoeléctrico, estructura atómica, etc.), mientras que la segunda clase se refiere a un conjunto de doctrinas, mucho más generales (teoría de la evolución, teoría cuántica, etc.), que abarcan familias de teorías específicas con una historia propia. Esta segunda clase se emparenta con las unidades de análisis, a las que hice referencia con anterioridad.

La unidad de análisis que propone Laudan en *Progress and its Problems* es la que él denomina Tradiciones de Investigación (TI)¹⁴, y como ejemplos clásicos de ellas pueden señalarse al darwinismo biológico, la teoría cuántica, el

Las dificultades normativas provienen del conflicto entre una teoría científica y las teorías metodológicas relevantes para la comunidad.

Dada la importancia de las metas de la ciencia y su relación con las teorías, la filosofía o metodología de la ciencia debe especificar estas metas e indicar los medios más efectivos para lograrlas, razón por la cual, la existencia de tensiones entre una teoría y las normas aceptadas, es un serio problema conceptual y la solución de las dificultades entre ellas, representa un extraordinario avance en la empresa científica. Dicha solución puede darse modificando la teoría de forma tal que se reconcilie con las normas establecidas, pero también puede darse a través de la modificación de los preceptos metodológicos. Como ejemplo de esto último, se puede mostrar la transformación de las concepciones metodológicas inductivistas (basadas en los preceptos metodológicos newtonianos), a las concepciones hipotético-deductivas.

Las dificultades relativas a la visión del mundo se generan cuando una teoría científica entra en conflicto con alguna parte de la visión del mundo dominante. Dichas dificultades son parecidas a las intracientíficas, pero difieren de éstas en el hecho de que la incompatibilidad se da con respecto a concepciones extracientíficas (metafísicas, lógicas, éticas, teológicas, etc.). Como ejemplo de lo anterior, Laudan señala las dificultades generadas por la mecánica newtoniana, con respecto a las concepciones ontológicas, prevalecientes en el siglo XVII, en lo relativo a las fuerzas. Tal controversia metafísica jugó, a decir de Laudan, un papel muy importante en la historia de las doctrinas newtonianas.

Dado que algunos filósofos han planteado que este tipo de dificultades son seudoproblemas, es necesario remarcar que si una teoría entra en problemas con determinada visión del mundo, no por eso debe de ser abandonada alguna de ellas, pues el problema es para ambas y la solución de la tensión dependerá de las particularidades del caso. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 45-64).

¹³ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 64-69.

¹⁴ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 70-73.

empirismo, el marxismo en economía, el vitalismo en fisiología, el newtonismo y muchas otras, las cuales tienen en común que:

- 1) Cada TI posee un conjunto de teorías específicas, que parcialmente la constituyen.
- 2) Cada TI tiene algunos compromisos metafísicos y metodológicos, que caracterizan y definen a cada una de ellas.
- 3) Cada TI tiene un cierto número de formulaciones diferentes y, normalmente, una larga historia.

De acuerdo con estas características, una TI provee un conjunto de guías y restricciones para el desarrollo de las teorías específicas, algunas de las cuales constituyen una ontología, que especifica el tipo de entidades que existen en el dominio (o dominios) en el que se encuentra inmersa la TI correspondiente. La función de las teorías será la de explicar los problemas empíricos, por reducción de ellos a la ontología de la TI.

Asimismo, la TI conlleva las formas válidas de inquirir, a través de principios metodológicos, que incluyen la construcción de sistemas instrumentales y las formas de prueba y evaluación.

Dada esta forma de entender a las TI, muchas de las revoluciones científicas han consistido en romper con las TI imperantes, inaugurando otras, que a su vez deben tener ese carácter integral de toda TI, la cual estimula, define y delimita lo que puede considerarse una solución para los problemas científicos¹⁵. Este carácter integral implica que la ontología y la metodología deben estar íntimamente relacionadas, pero es necesario distinguir entre ellas¹⁶, haciéndose necesario, para cada caso bajo estudio, hacer las suposiciones que se consideren pertinentes que, eventualmente, permitan plantear, con base en los casos estudiados, un conjunto de elementos generales de diferenciación. Por paradójico que pueda parecer, las TI no son explicativas, ni predictivas, ni directamente comprobables y no dan respuestas a preguntas específicas. Su función es la de proveer de los elementos que se requieren para resolver problemas empíricos y conceptuales, y es por esta razón que la evaluación objetiva de cualquier TI está ligada al proceso de resolución de problemas. En este sentido, una TI será exitosa si proporciona, a través de sus teorías específicas, soluciones adecuadas a problemas empíricos y conceptuales. Evidentemente, esto no quiere decir que una TI sea confirmada o refutada. De la verdad o falsedad de una TI no se puede decir nada¹⁷, de forma tal que si, momentáneamente, una TI es abandonada, no quiere decir que no pueda ser

¹⁵ A diferencia de los paradigmas de Kuhn, los criterios de identificación de una TI no son socio-históricos.

¹⁶ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 78-81.

¹⁷ cfr. Laudan, L., (1977), p. 82 y pp. 125-127.

retomada posteriormente, ya que dicho abandono representa una decisión tentativa a favor de otra TI, la cual, en ese momento, provee de teorías más exitosas en la solución de problemas. Por otro lado, puede ocurrir que teorías inadecuadas, pueden tener poderosos argumentos a su favor, si forman parte de una TI exitosa.

La relación entre TI y teorías es compleja. En primera instancia es importante señalar que las TI no imponen sus teorías, sino que especifican una ontología y una metodología, a las que pueden acogerse diversas teorías. Igualmente, a la inversa, de una teoría dada no se puede saber, para todos los casos, a qué TI pertenece, pudiéndose, a lo más, concluir acerca de algunos de sus elementos. Por ejemplo, de la teoría del impacto de Huygens no se puede deducir, sin consideraciones adicionales a la teoría, a que TI perteneció originalmente¹⁸.

En este sentido, las "... teorías representan ejemplificaciones de visiones más fundamentales acerca del mundo..."¹⁹, mientras que las TI son el "... conjunto de creencias que constituyen tales visiones fundamentales"²⁰.

El hecho de que la relación entre teorías y TI no sea impositiva, no quiere decir que no existan influencias, ya que las TI lo que sí hacen es delimitar, al menos parcialmente, el dominio de aplicación de sus teorías, ya que limitan, a través de la ontología y de la metodología, los problemas que pueden considerarse como legítimos. Para ejemplificar lo anterior, basta pensar cómo, en el nivel metodológico, una TI conlleva el tipo de técnicas experimentales válidas, limitando el tipo de fenómenos observables a considerar. El caso de la teoría de la relatividad muestra cómo su ontología hace desaparecer los problemas empíricos relativos al éter.

Adicionalmente, las TI pueden generar problemas conceptuales a sus teorías, como se observa en el caso de Huygens, que trabajando en una teoría general del movimiento, llegó a la conclusión de que las teorías más satisfactorias, desde el punto de vista empírico, eran aquéllas que aceptaban el vacío, pero la TI a la que pertenecía Huygens era, básicamente, la cartesiana, cuyo planteamiento era contrario a la existencia del vacío, generándose un problema conceptual²¹.

Así como las TI restringen el tipo de teorías, lo que podría considerarse como su papel negativo, también existe un papel positivo que puede ser de dos tipos:

- 1) Heurístico
- 2) Justificativo

¹⁸ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 81-85.

¹⁹ Laudan, L., (1985), p. 286.

²⁰ ibíd., p. 286.

²¹ cfr. Laudan, L., (1977), p. 89.

En sentido heurístico, las TI pueden proveer de pistas para la construcción o modificación de teorías. Por ejemplo, cuando Descartes desarrolló su teoría de la luz y el color, la TI generada por él postulaba que las propiedades primarias de los cuerpos eran forma, tamaño, posición y movimiento, de forma tal que cuando se propuso explicar los diferentes fenómenos, las líneas de investigación se centraron en dichas propiedades²².

El papel justificativo es de vital importancia, pues permite a las teorías incluir un conjunto de suposiciones que no provienen directamente de ellas (las teorías) sino de la TI a la que pertenecen, las cuales pueden ser asumidas, por parte de las teorías, como dadas. Como ejemplo de lo anterior, Laudan plantea el caso de Stephen Hales²³, que en el siglo XVIII, trabajando acerca de la naturaleza del aire, pudo explicar fenómenos tales como la elasticidad y la mezcla de gases, considerando que éstos estaban compuestos de partículas que se repelían mutuamente. Hales pudo asumir lo anterior, sin prueba alguna, dada su pertenencia a la TI newtoniana.

En resumen, las TI justifican aseveraciones de las teorías, hacen inadmisibles ciertas teorías, influyen en el reconocimiento y valoración de problemas empíricos y conceptuales y proveen de guías para la generación y modificación de teorías específicas²⁴.

Un hecho importante de esta relación entre las TI y sus teorías es que, en determinados casos, las teorías pueden abandonar la TI a la que pertenecen, para ser absorbidas por otra. Ésta es la razón por la cual las teorías dan la impresión de ser entidades independientes, como se puede ver en el caso de la TI newtoniana, que es capaz de introducir en su campo la teoría del impacto de Huygens, que originalmente pertenecía a la TI cartesiana (rival de la newtoniana)²⁵. Es a través de este proceso de apropiación, que muchas tradiciones nuevas establecen sus credenciales científicas.

Las TI son históricas y al igual que nacen y crecen, también pueden, eventualmente, morir. Las formas a través de las cuales puede cambiar una TI, son debidas a la modificación de alguna de sus teorías específicas o bien al cambio en alguno de sus elementos esenciales. Esta última forma es particularmente importante y puede prestarse a malos entendidos, pues algunos filósofos (como Kuhn y Lakatos) han planteado que si se producen cambios en un determinado marco conceptual, lo que se tiene es uno nuevo. Para Laudan no es así, como lo muestran los casos del aristotelismo, cartesianismo, newtonismo,

²² cfr. Laudan, L., (1977), pp. 89-92.

²³ Para un análisis más minucioso sobre la obra de Stephen Hales, cfr. Guerlac, H., (1977), pp. 275-284.

²⁴ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 92-93.

²⁵ cfr. Laudan, L., (1977), p. 95.

Evidentemente, el proceso de apropiación implica cambios que pueden ser de diversa índole. Incluso, en algunos casos, puede producirse un cambio semántico.

darwinismo, etc., en los que los cambios, lo que han provocado es una evolución de la TI correspondiente. Entre un estado y otro (sucesivo) se preservan muchos de los supuestos, y el énfasis debe ponerse en la continuidad relativa entre dichos estados.

El problema que se presenta es cómo reconocer, en un momento dado, si se sigue perteneciendo a la TI original o, a través de los cambios, se ha construido una nueva TI.

En primera instancia hay que considerar que las TI no son homogéneas, ya que algunos de sus elementos son más relevantes que el resto. En este sentido, el planteamiento de Laudan se asemeja al de Lakatos, quien plantea que sus Programas de Investigación Científica (la unidad de análisis de Lakatos) están compuestos de un núcleo duro irrefutable y de un cinturón de protección. Este núcleo lakatosiano está formado por los elementos más relevantes y el cambio en alguno de ellos implica, necesariamente, un nuevo Programa de Investigación Científica. En contraste con Lakatos²⁶, Laudan plantea que incluso estos elementos centrales pueden cambiar en el tiempo, sin que por ello se considere, necesariamente, que se ha cambiado de TI. En este proceso de evolución es posible concluir que determinados elementos que se consideraban centrales, pueden ser abandonados sin comprometer el éxito en la capacidad de resolver problemas de la propia TI. Por ejemplo, Mach y Frege argumentaron la no necesidad de los conceptos de espacio y tiempo absoluto para la TI newtoniana y éstos se desplazaron a la periferia de la misma, perdiendo el carácter central que tradicionalmente se les asignaba²⁷.

Desde la óptica de Laudan, la ciencia se desarrolla a través de la competencia entre TI, pudiéndose dar el caso de que un científico (o grupo de científicos) trabaje, simultáneamente, en varias TI, siempre y cuando éstas no sean inconsistentes en aspectos fundamentales. En estos casos lo que puede suceder (y de hecho ha sucedido) es que varias TI se amalgamen, produciendo una síntesis, que puede considerarse como progresiva en comparación con las TI originales. Algunas revoluciones científicas pueden ser entendidas como procesos de este tipo, en los que el carácter novedoso se da en la forma en que se combinan elementos pertenecientes a viejas TI. Como ejemplo de lo anterior, puede verse el caso del discurso de Marx, que amalgama elementos de los discursos de Adam Smith, Hegel y Feuerbach, entre otros²⁸.

²⁶ Para Lakatos, la irrefutabilidad del núcleo duro se basa en la decisión metodológica de los miembros de la comunidad científica que forman parte del Programa de Investigación Científica. (cfr. Lakatos, I., (1975), pp. 245-247).

²⁷ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 95-100.

²⁸ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 103-105.

Con el planteamiento de Laudan, la historia se vuelve más horizontal y menos vertical, dando una luz diferente sobre temas tales como revolución²⁹, continuidad, inconmensurabilidad³⁰, progreso y racionalidad.

En *Science and Values*, Laudan refina su propuesta a través de un modelo de estructura reticular para las TI, con lo que pretende dar razón del cambio científico. Para la construcción y justificación de la retícula, Laudan parte del análisis de los elementos que posibilitan la formación de consensos en el ámbito científico.

El alto grado de consenso, en el ámbito de las ciencias naturales, es algo que, a decir de Laudan, llama poderosamente la atención a todos aquellos que trabajan en humanidades o en ciencias sociales, acostumbrados a que cada escuela de filosofía o sociología tiene, incluso, una agenda diferente con respecto a los problemas centrales del campo. Por esta razón, la explicación de cómo se construyen los acuerdos científicos, juega un papel determinante para cualquier teoría que pretenda captar el funcionamiento de la ciencia.

Partiendo del alto grado de consenso como una característica esencial de la ciencia, los filósofos que trabajaron entre 1930 y 1950 en el estudio de la ciencia, aceptaron (al menos en principio) lo que Laudan denomina el ideal leibniziano, según el cual, toda controversia acerca de hechos puede resolverse imparcialmente, apelando a reglas metodológicas. En este contexto, los desacuerdos científicos son transitorios, y aunque desde la década de los cuarentas se observó que algunas controversias duraron mucho tiempo (por ejemplo copernicanos vs. tolomeicos), la explicación de los mismos se planteó apelando a la obstinación de algunos científicos (por ejemplo los astrónomos tolomeicos), sin poner en duda el ideal leibniziano. En la década de los cincuenta, llegó a proponerse que la duración de algunas disputas pudo deberse a que los contendientes de la controversia no se percataron de la equivalencia de sus modelos. En este contexto de aceptación del ideal leibniziano, los empiristas lógicos plantearon, como regla metodológica, la necesidad de que una teoría nueva sea capaz de explicar todo lo que explicaba la antigua, lo que posibilita el considerar a la ciencia como estrictamente acumulativa.

²⁹ Con respecto a la idea de revolución científica (de Kuhn), Laudan plantea que ni las revoluciones científicas son tan revolucionarias, ni la ciencia normal es tan normal ya que, a fin de cuentas, una revolución no es más que el dramático encuentro entre dos TI, entre las que puede construirse un puente, a través de los problemas empíricos que pretenden resolver.

³⁰ El problema de la inconmensurabilidad, señalado por Kuhn y Feyerabend puede, igualmente, salvarse identificando los problemas compartidos que enfrentan las teorías supuestamente inconmensurables y analizando la efectividad (en el sentido de resolver problemas) de las mismas. Aún en el caso en que dos TI sean inconmensurables en términos radicales, en el sentido de los planteamientos sustantivos que ellas hacen acerca del mundo (por ejemplo el caso de la mecánica clásica vs. la mecánica relativista), es posible analizar, racionalmente, los méritos relativos de cada una de ellas, de forma tal que la posible inconmensurabilidad entre teorías que pertenecen a TI diferentes, no impide la posibilidad de comparación que conduzca a la aceptabilidad racional.

De igual manera que en el ámbito filosófico, en el sociológico se construyó una versión sociologizada del ideal leibniziano, explicándose el alto grado de consenso a través de normas construidas por las comunidades científicas. En este sentido, para Merton³¹ las normas en ciencia pueden no ser explícitas, pero son siempre decisivas, y las controversias que se prolongan no se deben al desacuerdo racional sino a los prejuicios y supersticiones de uno de los bandos contendientes.

Así, tanto en el ámbito filosófico como en el sociológico, se explicaba el consenso científico a través del acuerdo entre los científicos acerca de reglas metodológicas o de normas incorporadas al trabajo de las comunidades.

Desafortunadamente, los desacuerdos científicos han sido tantos y tan relevantes, que considerarlos como desviaciones de la norma llegó a considerarse como poco satisfactorio, y en la década de los sesentas Kuhn y otros estudiosos, se dedicaron a construir modelos de cambio científico focalizados no en los acuerdos científicos sino en los desacuerdos³².

Bajo esta óptica, es evidente que debates tales como los de copernicanos vs. tolomeicos, mecánica newtoniana vs. mecánica cartesiana, Einstein vs. Bohr en mecánica cuántica, y muchos otros, no pueden explicarse, de manera definitiva, de acuerdo con el ideal leibniziano.

En esta nueva manera de aproximación al problema del cambio científico, a la que Laudan denomina *new wave*, juega un papel relevante la obra de Kuhn, que en *The Structure of Scientific Revolutions*, plantea que es la existencia de preferencias y valores diferenciados entre los científicos, lo que posibilita la aparición de nuevas conceptualizaciones aunque, como señala Laudan, Kuhn no distingue entre criterios para la aceptación de teorías y criterios para perseguir lo que es prometedor³³.

Para Kuhn, el choque entre paradigmas rivales es, siempre, racionalmente no concluyente y esto es debido a que, en realidad, los paradigmas son, ellos mismos, inconmensurables³⁴.

Con base en el discurso kuhniano, los filósofos y los sociólogos han concluido que los desacuerdos científicos son, no la excepción sino la norma, quedando relegadas las ideas relativas al consenso, a los periodos de ciencia normal. Para Laudan, la explicación de Kuhn falla al intentar explicar la transición de la ciencia normal, en la que hay consenso, a la crisis que genera los desacuerdos, e igualmente falla en la explicación de cómo, a partir del

³¹ cfr. Merton, R., (1973), pp. 267-278.

³² cfr. Laudan, L., (1984), pp. 3-13.

³³ cfr. Laudan, L., (1984), p. 14.

³⁴ cfr. Kuhn, T.S., (1971), pp. 158-173.

desacuerdo entre paradigmas (revolución científica), se regresa a una nueva etapa de ciencia normal, en la que el paradigma vencedor se entroniza como visión de consenso de la comunidad científica³⁵.

Por razones diversas, autores tales como Lakatos y Feyerabend se mueven en la misma dirección de Kuhn. Para Lakatos, la falsación es, en última instancia, por convención, pero no quedan claras las razones por las que una comunidad científica puede considerar superior, en un momento dado, a un Programa de Investigación Científica sobre otro³⁶. El caso de Feyerabend³⁷ es extremo, ya que para él ni siquiera es deseable el que los científicos alcancen el consenso.

En el ámbito sociológico, Collins³⁸ ha enfatizado el problema del desacuerdo científico, por sobre el consenso.

Ante esta situación, Laudan se propone reconciliar las nociones de consenso y disenso, mostrando que existen niveles de desacuerdo, cuya solución puede ser explicable racionalmente.

Dado que el consenso no nace, sino que se hace, dado que el acuerdo surge del desacuerdo, el problema de la formación de consensos es, para Laudan, el problema de la dinámica del cambio convergente de las creencias³⁹ ya que, a fin de cuentas, el alto grado de consenso en las ciencias naturales es el resultado, no de la universalidad de estándares sino de la emergencia de teorías que se vuelven dominantes, por ser las mejores para los diversos tipos de estándares. De acuerdo con la hipótesis laudaniana de la dominancia de teorías pueden entenderse, incluso, los casos en los que el acuerdo a nivel de las teorías es compatible con desacuerdos a nivel de los estándares⁴⁰.

³⁵ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 16-19.

³⁶ Aunque Lakatos plantea al incremento en el contenido empírico verificado como criterio de evaluación de los Programas de Investigación Científica, la separación que hace entre evaluación y aceptación, deja sin resolver este último problema. (cfr. Lakatos, I., (1975), pp. 244-250).

³⁷ En palabras de Feyerabend, el "... científico que desee maximizar el contenido empírico de los puntos de vista que sustenta y que quiera comprenderlos tan claramente como sea posible, tiene que introducir... otros puntos de vista: tiene que adoptar una metodología pluralista. Debe comparar sus ideas con otras ideas más bien que con la experiencia, y debe intentar mejorar, en lugar de excluir, los puntos de vista que hayan sucumbido en esta competición. Procediendo de esta forma, estará dispuesto a retener teorías acerca del hombre y del cosmos que se encuentran en el Génesis o en el Pimander, estará dispuesto a elaborarlas y a usarlas para medir el éxito de la evolución y de otras concepciones modernas... Concebido de esta forma, el conocimiento no consiste en una serie de teorías autoconsistentes que tiende a converger en una perspectiva ideal... Por el contrario, el conocimiento es un océano, siempre en aumento, de alternativas incompatibles entre sí (y tal vez inconmensurables)...". (Feyerabend, P.K., (1981), p. 14).

³⁸ cfr. Collins, H., (1981).

³⁹ cfr. Laudan, L., (1984), p. 23.

⁴⁰ cfr. Laudan, L. and Laudan, R., (1996), pp. 231-243.

A decir de Pérez Ransanz "... los Laudan proponen una explicación de las discrepancias en la evaluación de teorías que no necesita recurrir a factores externos o subjetivos, es decir, factores del ámbito psicológico, social, geográfico o disciplinario... Esto es, basta con que una teoría

La solución mejor conocida con respecto al problema de formación de consensos es la teoría de la racionalidad instrumental, denominada por Laudan modelo jerárquico de justificación. Según este modelo, en el análisis de los acuerdos y desacuerdos científicos hay que diferenciar tres niveles: teórico, metodológico y axiológico.

En el nivel más bajo (teórico)⁴¹, la discusión es sobre hechos, entendidos éstos no únicamente como aseveraciones acerca de eventos observables, sino también acerca de todo tipo de pretensiones relativas al mundo, incluyendo entidades inobservables y entidades teóricas.

Cuando se llega a desacuerdos en este nivel, según el modelo jerárquico, debemos movernos al nivel superior (metodológico), en el que las diferencias pueden ser resueltas a través de reglas de apoyo empírico y de comparación de teorías, que proveen de directrices, al menos cualitativas, para confirmar o refutar la evidencia provista por las teorías bajo evaluación.

En este sentido, se funciona como en las cortes de justicia: Se presenta el caso, se analiza de acuerdo a las reglas, se da un veredicto imparcial y todo el mundo lo acepta. Esta corte invisible está conformada por los científicos que trabajan en el área, lo cual representa, a fin de cuentas, una ejemplificación moderna del ideal leibniziano⁴².

Dichas reglas varían, desde muy generales a muy específicas pero, en muchos casos, el desacuerdo puede llegar a las reglas mismas, volviéndose un instrumento problemático de análisis.

En los casos en los que las controversias se dan en el nivel metodológico, hay que moverse un paso más en los niveles, para arribar al nivel de las metas (compartidas) de la ciencia. Este tercer nivel es el axiológico, y en él se analiza cuál de los contendientes (en el ámbito metodológico) permite cumplir, más efectivamente, las metas colectivas de la ciencia.

De acuerdo con el modelo jerárquico, las disputas en este nivel (axiológico) son irresolubles⁴³.

cumpla las diversas exigencias epistémicas de los especialistas. De aquí que, según estos autores, la formación de consensos no requiere que los científicos discutan ni modifiquen sus estándares de evaluación. Pero entonces, en el nivel de los juicios de valor, el papel de la comunidad como instancia donde se dirimen las diferencias es prácticamente nulo". (Pérez Ransanz, A.R., (1999), p. 175).

⁴¹ El término que utiliza Laudan para referirse a este nivel no es el de teórico sino fáctico.

⁴² cfr. Laudan, L., (1984), p. 24.

⁴³ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 25-26.

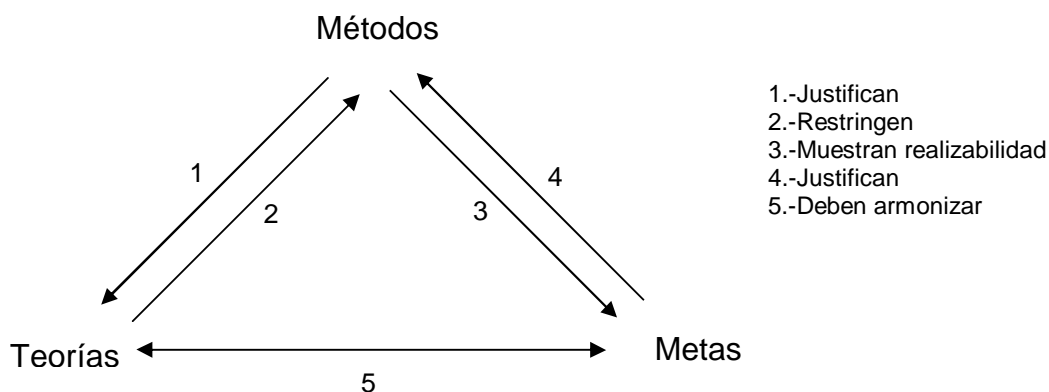
Dado que existen infinidad de ejemplos históricos que muestran que el modelo jerárquico es incapaz de dar respuestas adecuadas y no satisface ni a los que plantean que toda disputa puede resolverse racionalmente ni a los que proponen indeterminación radical, Laudan plantea la necesidad de transformar la concepción justificatoria (de las metas a los métodos y de éstos a las teorías) por una de tipo reticular en la que los niveles que componen la retícula (teorías, métodos y metas) no están, a diferencia del ideal leibniziano, jerarquizados, sino interrelacionados y sin que se privilegie a ninguno de ellos.

En este sentido, los problemas relativos a los acuerdos y desacuerdos científicos deben ser analizados desde la óptica de la existencia de TI compuestas por tres niveles (teórico, metodológico y axiológico) no jerarquizados, y que componen una retícula que evoluciona paulatinamente y que sólo puede ser evaluada al compararla con las TI rivales.

El modelo reticulado tiene la virtud de proponer una visión mucho más minuciosa del cambio científico, capaz de explicar no sólo las grandes transformaciones, sino también las pequeñas modificaciones que sufre la ciencia de manera paulatina, sin que medie una revolución científica. En este sentido, los periodos de ciencia normal no deben verse como etapas de tranquila acumulatividad, sino como épocas de rupturas menores (en alguno de los niveles) acompañadas de continuidades (en los restantes). De igual manera, es posible superponer la retícula de Laudan a las revoluciones científicas para observar que, incluso, muchas de ellas se dieron como un conjunto progresivo de modificaciones parciales, que finalmente representaron un profundo cambio⁴⁴.

⁴⁴ Como ejemplo de lo anterior, baste pensar en la revolución copernicana que empieza (con la obra de Copérnico) con un cambio en el ámbito estricto de la teoría astronómica (el paso del geocentrismo al heliocentrismo) pero sin proponer reformas sustanciales a la metodología tolemaica (ni a su axiología), consistente en hacer las descripciones cosmológicas a través de mecanismos tales como los epiciclos (mayores y menores) y las excéntricas (móviles y fijas), todos ellos contruidos bajo el supuesto de que la trama de los cielos debía explicarse basándose en movimientos circulares con velocidad circular uniforme. Partiendo de esta modificación teórica, la evolución de esta revolución fue introduciendo cambios de corte metodológico en la astronomía, a través de las aportaciones de Tycho (en el ámbito tecnológico, que lo llevó a estándares de precisión verdaderamente sorprendentes) y de Kepler, que terminó por desechar los mecanismos cosmológicos en favor de un tipo de órbita elíptica, prohibitiva para Ptolomeo, Copérnico e incluso para su contemporáneo Galileo (que nunca pudo abandonar la idea de órbitas circulares). En el mismo sentido cosmológico, el planteamiento de Descartes, en torno a los vórtices, pareciera incidir más en el ámbito axiológico que en el metodológico, pues su modelo pretende generar modelos de explicación más que calcular. Paralelamente, la obra de Galileo representa una doble vertiente, la primera, relacionada con la astronomía, en la que introduce al telescopio como instrumento de constatación y la segunda, por el lado de la física, en la que construye un discurso que, por un lado, sustituye al aristotélico y por otro, sienta las bases para la vinculación de los fenómenos tanto terrestres como celestes. Adicionalmente, con la obra de Galileo se produce un extraordinario cambio metodológico que, coincidiendo con los planteamientos de Laudan, sólo puede ser entendido a cabalidad, si se aclara la nueva axiología galileana. Esta nueva axiología, con profundas semejanzas con el tipo de metas planteadas por la ciencia moderna, es la responsable de que, aún hoy en día, al leer a Galileo se tenga un sentimiento de proximidad, lo cual no ocurre cuando uno lee, no digamos textos medievales, sino libros de Kepler, llenos de

Las relaciones entre los componentes de la retícula laudaniana conforman lo que Laudan denomina red triádica de justificación, que puede visualizarse de la siguiente manera⁴⁵:



Puede parecer que las limitaciones que se le imponen a las metas son muy débiles y que es muy fácil satisfacerlas, lo que, por un lado, si éstas representan estándares mínimos de racionalidad y sólo son satisfechas por un conjunto de metas, hará ilegítimas las disputas en torno a las mismas y, por otro lado, es probable que varios conjuntos de metas, incluso incompatibles entre sí, puedan satisfacer estos estándares mínimos.

Para Laudan, aunque el modelo reticulado no puede responder a la cuestión de si las metas que sobreviven a la disputa son las correctas, esto no es grave, pues en realidad la pregunta no es válida, ya que no existe ninguna meta correcta para la ciencia, y es legítimo inquirir por diversas razones y con una gran variedad de metas. Los que piensan que una axiología puede ser la guía para la investigación, han fallado ante la diversidad de fines potenciales y formas de preguntar.

Laudan considera que su propuesta es de corte heracliteano, de forma tal que las teorías, los métodos y las metas de la ciencia, cambian. En *Beyond Positivism and Relativism*⁴⁶, Laudan plantea que esta visión heracliteana no implica que los cambios en los niveles metodológico y axiológico se den, necesariamente, de forma abrupta, sino que, por el contrario, estos niveles son profundamente conservadores, dadas las constricciones que la estructura científica impone en términos de su propia historia. Las ciencias naturales han ido construyendo una representación canónica de su pasado exitoso, que incluye sus grandes momentos (y personajes) históricos, las innovaciones triunfantes, los experimentos clásicos y todo lo que involucra el folklore de cada una de las disciplinas científicas, las cuales sirven como auténticas marcas de identidad a cada una de ellas, permitiéndoles diferenciarse unas de otras a través de estas

digresiones numerológicas y de extraños razonamientos acerca de armonías, que evidentemente responden a objetivos axiológicos muy diferentes a los que en general aceptan las ciencias actuales.

⁴⁵ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 62-63.

⁴⁶ cfr. Laudan, L., (1996), pp. 146-153 y 162-163.

genealogías que componen el canon. Este canon es tan importante que todo intento de aproximación (instrumentalista, realista, positivista, etc.) tiene la necesidad de apropiarse (de alguna manera) del mismo, pues de lo contrario, no sería nunca vista como una interpretación plausible. El papel que juega dicho canon es el de certificar o descertificar los nuevos planteamientos axiológicos y metodológicos, los cuales, para acreditar sus credenciales en el ámbito científico, deben mantener intacto al mismo.

Esta idea de representación canónica del pasado debe entenderse como versiones actualizadas de los grandes discursos que componen el conocimiento básico aceptado por las diversas disciplinas científicas actuales y en las que, incluso, se acotan los rangos de aplicabilidad de cada uno de los componentes de dicho canon, el cual tiene la característica de ser histórico *sui generis*, pues aunque está lleno de referencias a los grandes científicos del pasado, no necesariamente es idéntico al original, sino que ha sido modernizado a través de, por ejemplo, el aparato matemático posterior a los desarrollos originales. Es precisamente este proceso de actualización el que obliga a las nuevas axiologías y metodologías a confrontarse, para su validación, con el canon.

Aunque el canon no es inmutable, sus cambios suelen ser muy lentos (cuasiestáticos, en sentido termodinámico), pues cada cambio implica un reajuste de las categorías, que tiene que legitimarse en la propia historia reescrita que proveen los textos, ya que es en ellos donde los científicos aprenden el canon y no en los libros de historia de la ciencia.

Dicho de otra manera, a través de su representación canónica, el peso racional de la historia dirige y constriñe el cambio científico.

Aunque el planteamiento de que tanto las teorías como los métodos y las metas de la ciencia pueden cambiar, aparentemente problematizaría el hablar de progreso científico pues, normalmente, se relaciona al progreso con la satisfacción de las metas, para Laudan esta dificultad es más aparente que real⁴⁷.

Tradicionalmente, se relaciona progreso con la consecución de las metas de los agentes cognitivos (los científicos que aceptan o rechazan una teoría) pero no hay razón para que sea de esta manera, sino que el progreso lo podemos evaluar con base en nuestras propias metas con respecto a la ciencia, y de hecho podemos, por ejemplo, considerar progresiva a la óptica newtoniana, en comparación con la cartesiana, de manera independiente a los fines y las metas de Newton y Descartes.

De lo anterior se desprende que aún con cambios en el nivel axiológico, podemos seguir hablando de progreso, pero en un sentido relativo, referido a determinadas metas, de forma tal que cualquier planteamiento científico puede

⁴⁷ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 64-66.

ser progresivo con respecto a una axiología y regresivo con respecto a otra. Esta relativización del progreso, que puede resultar paradójica, se debe a la inexistencia de un conjunto único de metas científicas.

El modelo reticulado difiere de los modelos holistas (Kuhn, Lakatos) en que mientras que en estos últimos todos los niveles van juntos y son inseparables, en el modelo propuesto por Laudan, cada nivel es negociable independientemente, y el eventual reemplazo de dicho nivel no implica, necesariamente, la modificación de los restantes. Incluso en los casos de cambio científico en los que se modifican los tres niveles (el paso de Aristóteles a Newton, por ejemplo), este cambio puede darse de forma tal que una tríada T_1, M_1, A_1 (niveles teórico, metodológico y axiológico, respectivamente) puede evolucionar a T_2, M_1, A_1 , ésta a T_2, M_2, A_1 y finalmente arribar a T_2, M_2, A_2 , en donde si solamente observamos los estados inicial y final, plantearíamos un cambio paradigmático (a la Kuhn), que difícilmente puede explicarse racionalmente, pero que al desglosarlo en pequeños cambios, puede ser descrito de acuerdo con criterios racionales. Laudan denomina estas formas de ver los cambios como multitradicionales (la visión holista) y como unitradicionales (la visión reticulada), pudiendo considerarse a los cambios multitradicionales como casos específicos de cambios unitradicionales⁴⁸.

Otra ventaja del modelo de estructura reticular es que permite explicar cambios en los niveles metodológico y axiológico, sin que estén asociados a cambios en el nivel teórico, los cuales no pueden existir de acuerdo con la visión holista. Como ejemplo de lo anterior, Laudan plantea el cambio del método inductivo hacia el hipotético deductivo, el cual se dio sin que se pueda encontrar una revolución científica responsable de dicha transformación.

En este punto, llama la atención que en *Science and Values* se plantea que tanto las teorías como los métodos y las metas de la ciencia son cambiantes y que la axiología no puede ser la guía para la investigación, dada la diversidad de fines potenciales de la ciencia, mientras que todo el discurso de *Progress and its Problems* gira en torno al objetivo (axiológico) de resolver problemas. Esta aparente (o real) contradicción puede salvarse considerando al objetivo de resolver problemas como una especie de meta general que ha estado presente, de una u otra forma, a lo largo de la historia y representa el hilo conductor de la progresividad⁴⁹ y la racionalidad⁵⁰ científica. De hecho, desde *Progress and its*

⁴⁸ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 74-78.

⁴⁹ El peso específico del canon al que hice referencia radica en su éxito, entendido éste como control práctico sobre el dominio bajo investigación, de forma tal que el juicio (hecho por los científicos) no es de tipo epistemológicamente abstracto o metodológico sino, en gran medida, pragmático. Este carácter pragmático de la valoración especial (del éxito) que se hace en ciencia (en comparación con otras disciplinas que no tienen un criterio independiente tan claro para pertenecer a sus correspondientes cánones) provoca que los acotamientos que la historia impone a la ciencia sean mucho mayores que los correspondientes para otras actividades intelectuales que, como por ejemplo la literatura, no tienen que responder al ideal pragmático de ser exitosas.

Problems, Laudan plantea en la parte relativa al progreso y la racionalidad científica que "... el objetivo cognitivo más general de la ciencia es resolver problemas"⁵¹.

En la lógica de las TI con estructura reticular⁵², la revolución se diluye en evolución, la cual ocurre, normalmente, en uno de los niveles, a veces en dos de

De acuerdo con esta idea del éxito, Laudan propone su concepto de progreso, partiendo del hecho de que la ciencia no sólo es exitosa, sino progresivamente exitosa. Al igual que con el éxito, el progreso debe evaluarse de acuerdo con nuestras metas, y es de acuerdo con ellas que la representación canónica es una reconstrucción progresivamente exitosa de la historia de la ciencia. Es muy posible que esta reconstrucción progresivamente exitosa de la historia de la ciencia sea la responsable de que, en primera instancia, la ciencia aparezca como una empresa estrictamente acumulativa, que fue la teoría dominante desde Comte hasta Popper, y que mostró su carácter falaz desde los planteamientos de Kuhn y los filósofos posteriores, incluido Laudan, para quienes la acumulatividad puede ser condición suficiente pero no necesaria para el progreso.

Para Laudan, la idea de progreso no requiere de agente específico, ya que se puede hablar de progreso incluso en los casos en los que no se cumplieron las metas que los científicos perseguían, pero a condición de que sí se cumplan las nuestras.

En este sentido, el carácter progresivo de los episodios de la historia de la ciencia, debe ser evaluado desde nuestra axiología, independientemente de las axiologías sostenidas por los personajes históricos sujetos a consideración.

De acuerdo con lo anterior, algún desarrollo científico que en su momento fue considerado progresivo, pues promovía las metas de la comunidad científica de la época, puede dejar de serlo si dichas metas cambian sustancialmente y viceversa, y planteamientos que en su momento no fueron interpretados como exitosos pueden, hoy en día, ser catalogados como altamente progresivos. (cfr. Laudan, L., (1996), pp. 138-141).

⁵⁰ En lo que a la racionalidad se refiere, en *Beyond Positivism and Relativism*, Laudan parte de la crítica a las posiciones historicistas que han pretendido considerar a la metodología como teoría de la racionalidad, en el sentido de ser capaz de dar razón de la racionalidad de los episodios del pasado. Esta óptica ha operado bajo dos supuestos:

- 1.- Los grandes científicos del pasado tomaron sus decisiones de manera racional.
- 2.- Las metodologías deben ser evaluadas por su habilidad para explicar la racionalidad de los juicios de los grandes científicos del pasado.

La tesis (2), que es de carácter metametodológico es, para Laudan, inaceptable, ya que dado que las metas cambian de persona a persona y sobre todo de época a época, pretender juzgar no la racionalidad de los héroes (pues ésta no está a discusión por (1)) sino las metodologías, por su incapacidad para explicar racionalmente los juicios de los grandes científicos, parte del error de considerar las metas como no cambiantes y pensar que se pueden aplicar nuestros métodos, que responden a nuestras metas, para juzgar la racionalidad de alguien en el pasado, sin considerar que sus métodos responden a sus fines. (cfr. Laudan, L., (1996), pp. 128-131).

Como ejemplo de lo anterior, se puede pensar en el caso de Kepler, cuyo trabajo es difícil de ser descrito por alguna metodología actual, dado el carácter peculiar de su obra, resultando absolutamente incomprensible si no se toma en consideración que lo que Kepler se proponía era develar el misterio del Cosmos, a través de secretas armonías impuestas por Dios. Estos elementos axiológicos, marcaron de tal manera la metodología kepleriana, que lo encaminaron no sólo a sus inmortales leyes sino también al planteamiento de que "... los movimientos de los cielos no son sino una cierta polifonía perpetua (inteligible e inaudible) con tonos disonantes..." (Kepler, J., (1952), pp. 1048). Estos arrebatos proféticos, que condujeron a Kepler a buscar (y lo que es más raro, a encontrar) la música de las esferas de Pitágoras, son imposibles de ser captados por nuestras metodologías y descalificar, por esta razón, a las mismas, es un exceso derivado de no tomar en consideración la relación existente entre metodología y axiología y de no distinguir entre racionalidad y progreso.

⁵¹ Laudan, L., (1977), p. 124.

⁵² Desde la aparición de *Science and Values*, varios filósofos han polemizado con Laudan acerca de sus planteamientos.

Worrall (cfr. Worrall, J., (1988)) ha planteado que la pretensión de Laudan de que el modelo de estructura reticular representa una tercera opción ante el modelo de consenso y el jerárquico, no es válida ya que, desde su punto de vista, Laudan ha caracterizado mal al modelo jerárquico y ha sobrestimado el impacto del criticismo kuhniano.

Para Worrall, Laudan no logra evadir el problema del relativismo al plantear que los métodos son cambiantes, ya que la única posibilidad para no caer en él, es la de mantener algunos principios metodológicos fijos, lo que lo lleva a diferenciar entre los principios metodológicos implícitos y los explícitos. Desde esta óptica, el problema radica en decidir qué cuenta como principio metodológico y Laudan, a decir de Worrall, tiene un concepto muy amplio en lo que a metodología se refiere. Según él, el espectro de los auténticos principios metodológicos es mucho más estrecho y está integrado únicamente por un conjunto de reglas generales, abstractas, que no han cambiado a lo largo de la Historia, las cuales representan el sustento de la racionalidad científica y los debates metodológicos se refieren a los pronunciamientos explícitos que, en muchos casos, lo que han producido es que los principios implícitos se han convertido en explícitos.

Como ejemplo de estos principios invariantes, Worrall señala el hecho de que las teorías deben, si esto es posible, ser contrastadas contra teorías rivales plausibles.

En las conclusiones del artículo, Worrall plantea que si la metodología implícita cambiara, entonces el modelo reticulado colapsaría en el relativismo, pues el progreso sólo ocurriría con respecto a los estándares que aceptamos ahora. La única forma de evadir al relativismo, a decir de Worrall, sería que Laudan aceptara que dentro de su visión amplia de la metodología, existe un núcleo *M* el cual no cambia, pero en este caso el modelo reticulado no sería una tercera opción, pues sería una variante del modelo jerárquico.

En su respuesta a Worrall, Laudan (cfr. Laudan, L., (1989)) plantea que no sólo los métodos cambian, sino que habría algo muy raro si no lo hicieran.

Con respecto al relativismo, al menos para métodos y estándares, Laudan señala que el problema no radica en que éstos cambien o no, sino en la inexistencia de un fundamento racional que los valide, pues aún si no cambiaran, un relativista podría preguntarse ¿cuál es su justificación? Esta justificación debe radicar en mostrar la superioridad de unos métodos sobre otros.

A decir de Laudan, él no ha dicho que ningún principio metodológico haya permanecido invariante en la ciencia (desde el siglo XVII), sino que algunos principios metodológicos centrales han sido abandonados o significativamente modificados y que no hay ninguna razón para pensar que cualquier principio metodológico sea, en principio, inmune a la revisión. Como ejemplo de un principio abandonado, Laudan señala el relativo a que un evento puede ser la causa de otro, sólo si invariablemente lo acompaña, lo cual es el corazón de las investigaciones experimentales hasta antes de mediados del siglo XIX.

Aunque Worrall concede que los métodos pregonados por los científicos si han cambiado se muestra escéptico acerca de lo que los científicos dicen, de forma tal que, para Worrall, los científicos adolecen de una especie de mala conciencia acerca de lo que hacen y no hacen, resultando sorprendente que los científicos, implícitamente, nunca se equivoquen y, explícitamente, nunca acierten.

Para Laudan, filósofos como Worrall y Lakatos, tienen una idea parmenideana de la ciencia y los científicos son sonámbulos koestlerianos.

La tesis de que los científicos nunca entienden lo que hacen no es, psicológicamente plausible.

No obstante que Worrall acepta que las innovaciones metodológicas (uso de 'experimentos ciegos' o de técnicas estadísticas) se relacionan con descubrimientos sustantivos, hay que distinguir entre estos principios y aquellos no cambiantes y abstractos que son formales, no sustantivos. Sin embargo, el único ejemplo de dichos principios que Worrall aporta, el de que las teorías se contrastan, tanto como sea posible, con teorías rivales plausibles, ni es estrictamente formal ni ha estado presente, implícitamente, en toda la gran ciencia. Para Laudan, la diferencia entre formal y sustantivo es de grado y de contexto.

Para concluir, Laudan señala que la idea de que los métodos implícitos no cambian es intuitivamente plausible pero no históricamente certera.

En la contrarrespuesta de Worrall (cfr. Worrall, J., (1989)), éste plantea que el problema de si las metodologías han cambiado, depende de lo que se entiende por metodología ya que, desde su punto de vista, debe existir un núcleo metodológico no cambiante que incluya a la lógica deductiva y a las reglas intuitivas que valoran la experiencia, especialmente el principio que valora el éxito en las predicciones. En caso de no existir este núcleo, no se podrían explicar, racionalmente, los cambios en la ciencia.

Si Laudan tiene razón en que la existencia de un núcleo metodológico lleva al relativismo, entonces el relativismo es inevitable y desde su punto de vista, en efecto, el relativismo, tal como lo entiende Laudan, es inevitable, ya que ¿cómo se puede prevenir una justificación que requiere otra justificación? Siguiendo a Popper, Worrall plantea que la adopción de la racionalidad no puede ser justificada racionalmente y es necesario aceptar, dogmáticamente, ciertos principios básicos de racionalidad. Si Laudan piensa que admitir esto implica el relativismo, entonces el relativismo gana.

En respuesta al planteamiento relativo a la falsa conciencia de los científicos, Worrall asegura que se necesita mucha menos falsa conciencia de la que Laudan le asigna ya que la evidencia histórica, interpretada adecuadamente, muestra la existencia de una continuidad sustancial, incluso en la metodología explícita, a nivel del núcleo.

En lo relativo al único ejemplo que aportó en su primer artículo, Worrall admite haber hecho una simplificación ilegítima ya que, reconoce, ningún principio es puramente formal, pero no acepta que de aquí se pueda concluir que todo principio está sujeto a revisión. Él cree que debe resistirse a la inferencia de sustantivo (estrictamente falible) a seriamente corregible.

Para Worrall, hay evidencia de la revisabilidad de principios metodológicos, sólo si éstos se entienden en el sentido laudaniano (amplio y altamente sustantivo), pero aunque los principios del dominio estrecho pueden ser sustantivos, no hay evidencia de que la necesidad de revisabilidad deba ser tomada en cuenta.

Harvey Siegel (cfr. Siegel, H., (1990)) ha planteado que la normatividad naturalista de Laudan, que vincula medios y fines, conlleva una concepción instrumentalista de la racionalidad que se contrapone con las concepciones de corte epistémico.

Desde su punto de vista, las reglas metodológicas no se pueden justificar por su eficacia instrumental ya que la única justificación aceptable debe ser construida con base en principios epistémicos relevantes. Como ejemplo de éstos, plantea la maximización de la probabilidad de que la experimentación se conduzca de acuerdo con resultados verdaderos (o válidos).

El hecho de que la racionalidad sea regularmente usada para demostrar la eficacia instrumental, no implica que sea una condición necesaria para la acción racional ya que pueden existir acciones instrumentalmente eficaces pero irracionales.

En este contexto, se debe cumplir que tanto las acciones como los fines deben estar justificados, y estas condiciones son más epistémicas que instrumentales, ya que en caso de conflicto entre fines y medios, uno tiene que decidir cuál cambiar y aunque las consideraciones de, por ejemplo, el cambio axiológico, pueden ser instrumentales, no tienen que serlo necesariamente.

Para Siegel, aún aceptando el carácter naturalista de la metodología y la axiología, de ello no se sigue que la normatividad filosófica de la filosofía de la ciencia debe ser naturalista, pues los límites de un naturalismo viable son muy estrictos.

En respuesta a Siegel, Laudan (cfr. Laudan, L., (1990a)) plantea que si hay algo de nuevo en su propuesta es el poder mostrar que su tratamiento de la relación medios-fines es preferible a otras posiciones metametodológicas, como el intuicionismo o el convencionalismo.

De acuerdo con Laudan, Siegel piensa que la racionalidad instrumental y la epistémica son fundamentalmente diferentes porque sobreestima la racionalidad instrumental y no ve que la racionalidad epistémica es parte de la instrumental y falla en encarar los problemas fundamentales de cualquier metaepistemología.

El único pasaje en el que Siegel señala un ejemplo de que tipo de cosas son las justificaciones epistémicas relevantes, se refiere a aquellos principios que maximizan la probabilidad de que se produzcan resultados verdaderos (o válidos) lo que, a decir de Laudan, significa que se justifica una regla epistémica determinando si puede producir consecuencias

ellos simultáneamente, y en muy raras ocasiones, en los tres, pero incluso para este último caso, el planteamiento laudiano propone una caracterización normativa que hace viable su análisis, como intentaré mostrar a lo largo de este trabajo en el que pretendo poner a prueba las tesis filosóficas de Laudan para el caso de la TI newtoniana, ya que como él mismo plantea, desde el prólogo de *Progress and its Problems*, el papel que juegan los ejemplos históricos no es el de ilustrar las tesis filosóficas sino que, por el contrario, deben de servir para evaluarlas⁵³.

epistémicamente deseables, de manera que lo que resulta es que el único criterio aportado por Siegel es, a fin de cuentas, una ilustración de cómo el análisis de medios-fines provee el marco de referencia para el análisis epistémico de reglas metodológicas lo que, por otro lado, no podría ser de otra manera, pues la justificación es, ella misma, una noción racional.

Siegel ofrece otros ejemplos de que una regla puede ser instrumentalmente racional, pero no epistémicamente racional, en los que muestra que si imaginas un fin no epistémico, las reglas para alcanzar ese fin no son las mismas que si el fin fuera epistémico, pero esto, lejos de ser una refutación para la concepción instrumental, representa, efectivamente, lo que se espera de dicha concepción. Diferentes fines requieren diferentes medios, de forma que Siegel no propone nada que no pueda ser descrito en términos de la relación medios-fines.

Con respecto al planteamiento relativo a considerar la relación medios-fines como condición necesaria para la racionalidad, Laudan señala que Siegel comete un error al confundir condiciones necesarias con condiciones suficientes.

Dado que, de acuerdo con Siegel, las disputas no son empíricas sino *a priori* pero sin ofrecer razones para mantener reglas metodológicas *a priori*, Laudan se pregunta acerca de los motivos para defender con tanta vehemencia dicha postura, y aunque señala que no le es totalmente claro, ofrece una conjetura explicativa según la cual, epistemólogos como Siegel, piensan que la búsqueda de teorías verdaderas o altamente probables es un objetivo de la ciencia, el cual tiene serios problemas para identificar cuáles serían los métodos adecuados para alcanzar este fin. Desde el punto de vista de la epistemología realista de Siegel, el marco naturalista que relaciona medios y fines, hace que la empresa científica pierda racionalidad.

Leplin (cfr. Leplin, J., (1990)) está, en general, de acuerdo con Laudan en lo que a metodología se refiere, pero difiere en la versión naturalista de la axiología ya que encuentra contradictorio el hecho de que las metas científicas necesiten establecer sus credenciales antes de ser aceptables y, al mismo tiempo, cambien en el tiempo. Esta postura es lo que él denomina "extraño conservadurismo" de Laudan, e implicaría que los nuevos planteamientos axiológicos difícilmente podrían llegar a ser aceptados, pues se juzgaría su realizabilidad antes de que alguien los hubiera promovido.

Laudan (cfr. Laudan, L., (1990b)) responde a Leplin señalándole que las acciones siempre tienen consecuencias no propuestas y esto, a decir de Laudan (y a diferencia de Leplin), no es accidental y revela el aspecto conservador acerca del tipo de cambios que se aceptan (en ciencia). Esto se relaciona con la concepción canónica, según la cual el canon sirve como certificador o descertificador para las nuevas propuestas axiológicas. La manera de obtener las credenciales es mostrando que el canon se preserva desde esta nueva axiología.

Rosenberg (cfr. Rosenberg, A., (1990)) difiere de Laudan en que, para él, existe una meta que ha permeado a la ciencia, la cual consiste en la búsqueda del conocimiento, aunque acepta que este término abarca infinidad de nociones. Estas diferencias reflejan, a decir de Rosenberg, no fines diferentes si no teorías divergentes acerca de qué es el conocimiento.

En respuesta a Rosenberg, Laudan (cfr. Laudan, L., (1990b)) plantea que más allá del hecho de que buscar la misma meta, cuando ésta se entiende de diferentes maneras, implica buscar metas diferentes, es evidente que independientemente de las palabras que se usen (cambios en las metas o en la naturaleza del conocimiento), estos cambios se han producido por el mismo tipo de factores que producen los cambios en las teorías.

⁵³ cfr. Laudan, L., (1977), p. 7.

CAPÍTULO II

La Metodología Newtoniana

Introducción

Como producto de lo acontecido a raíz de la aparición, en 1543, del libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Nicolás Copérnico⁵⁴, el panorama de la Filosofía Natural⁵⁵, en la segunda mitad del siglo XVII, es el de un tremendo campo de batalla entre diversas TI, que difieren entre sí (y en algunos casos se complementan), tanto en el ámbito estrictamente teórico, como en el metodológico e incluso en el axiológico.

Los *currícula* de las principales universidades, mantenían una marcada preferencia por la TI aristotélica, dando cabida a posiciones platónicas y neo-platónicas que abrían tímidamente la puerta a aproximaciones a los discursos galileano y kepleriano⁵⁶, corriendo con un poco más de suerte las TI cartesiana y baconiana, que eran las más influyentes entre los pensadores relevantes de la época, los cuales (sin abandonar las universidades) habían encontrado en las Sociedades Científicas⁵⁷ el lugar propicio para debatir sobre temas de actualidad, sin cargar con el enorme fardo que representaba la TI aristotélica medieval. Estas Sociedades habían incluso generado publicaciones⁵⁸ tales como *Philosophical Transactions*, *Acta Eruditorum* y *Journal des Sçavans*, a través de las cuales se daban a conocer algunas de las investigaciones más recientes, permitiendo polemizar⁵⁹ sobre los más variados temas.

En este contexto, es claro que un problema central de la Filosofía Natural, en la segunda mitad del siglo XVII, era la inexistencia de criterios (aceptados universalmente por todas las comunidades científicas) que permitieran la

⁵⁴ cfr. Copernicus, N., (1980).

⁵⁵ A mediados del siglo XVII no existía, como hoy en día, la división en diversas ciencias. Todos los estudios en torno a la Naturaleza, pertenecían a la Filosofía Natural, la cual pretendía describir cómo es el mundo, así como las razones de las cosas.

⁵⁶ Las bibliotecas posibilitaban el aprendizaje autodidacta de estos autores y de otros importantes como Pierre Gassendi, cuyo planteamiento atomista representa otra relevante TI en la segunda mitad del siglo XVII.

⁵⁷ En 1603, en Italia, se fundó la Accademia dei Lincei.

En 1662, en Inglaterra, se fundó la Royal Society.

En 1666, en Francia, se fundó la Académie Royale des Sciences.

En 1657, en Italia, se fundó la Accademia del Cimento.

⁵⁸ En 1665, Henry Oldenburg inauguró las *Philosophical Transactions*, como publicación de la Royal Society.

⁵⁹ Las *Philosophical Transactions* fueron el campo de batalla de la polémica Newton-Hooke.

La polémica Newton-Leibniz se dirimió tanto en las *Philosophical Transactions* como en las *Acta Eruditorum*, la publicación alemana a cargo de Otto Mencke.

aceptación o rechazo de teorías⁶⁰, e incluso de acuerdos mínimos en torno a las metodologías utilizadas para la investigación en Filosofía Natural.

Las componentes metodológicas de la TI newtoniana se encuentran dispersas, explícita e implícitamente, en los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, la *Opticks*⁶¹ así como en los numerosos manuscritos y cartas de Newton e incluyen sus famosas Reglas para Filosofar, el papel de la experimentación, de la inducción, de las matemáticas, del análisis y la síntesis, que conforman lo que Cohen⁶² ha denominado el estilo de Newton, el cual alcanza, incluso, a la forma en la que estructuraba sus obras⁶³.

II.1 Los Fenómenos

El complejo planteamiento metodológico de Newton surge, a decir de él, del hecho de que "... 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..."⁶⁴. En el mismo sentido, en una carta dirigida al jesuita francés Ignace Gaston Pardies, plantea que "... el mejor y más seguro método de filosofar parece ser, primero preguntarse diligentemente acerca de las propiedades de las cosas, y establecer esas propiedades por medio de experimentos..."⁶⁵.

El planteamiento empirista de Newton, parte de las propiedades de las cosas, de los fenómenos, los cuales son llevados al sensorio, que es "... el lugar en que está presente la sustancia sensitiva y a donde son llevadas las formas sensibles de las cosas a través de los nervios y el cerebro, a fin de que sean allí percibidas por su presencia inmediata en dicha sustancia"⁶⁶. Esta teoría

⁶⁰ Como ejemplo de esto, baste señalar que las hoy denominadas Leyes de Kepler eran consideradas como una teoría más, que convivía con otras y era aceptada o rechazada individualmente por cada investigador. (cfr. Baigrie, B.S., (1987)).

⁶¹ A partir de ahora los denominaré los *Principia* y la *Óptica*.

⁶² cfr. Cohen, I.B., (1983), pp. 21-57.

⁶³ Llama la atención (en la *Óptica* y los *Principia*) la compulsiva pretensión de estructuración formal, para la presentación de los resultados.

⁶⁴ Newton, I., (1982), p. 200.

⁶⁵ En Westfall, R.S., (1996), p. 242.

⁶⁶ Newton, I., (1977), p. 320.

Esta conceptualización, hecha por Newton en la Cuestión 28 es, como todo lo relativo a las cuestiones, planteada a manera de pregunta, pues no tenía (no podía tener) evidencia, a partir de los fenómenos, de que esta teoría de la percepción fuese cierta, y Newton era muy cuidadoso de no violar su propia metodología, aunque él estuviera totalmente convencido.

El planteamiento newtoniano tiene evidentes semejanzas con la postura de Locke que en *An Essay Concerning Human Understanding* (1689) plantea que "Si, por lo tanto, los objetos externos no se unen a nuestra mente cuando producen ideas en ella y, sin embargo, percibimos esas cualidades originales de aquellos objetos que individualmente caen bajo nuestros sentidos, es evidente que habrá algún movimiento en esos objetos que, afectando algunas partes de nuestro cuerpo, se prolongue por conducto de nuestros nervios o espíritus animales hasta el cerebro o el

(especulativa) de la percepción, se basa en la inexistencia de estructuras mentales anteriores a la experiencia, diferenciándose, en este sentido, de planteamientos que, como el cartesiano, hacían referencia a dichas estructuras *a priori*.

Regresando a lo dicho por Newton, relativo a la necesidad de partir de los fenómenos, cabe la pregunta relativa a qué entiende él por fenómeno, ya que incluso, si se comparan la primera edición de los *Principia* (1687) con la segunda (1713) y tercera (1726), se observa que al inicio del Libro III se encontraba un conjunto de nueve hipótesis, que en las siguientes ediciones se transformaron en reglas y fenómenos. En particular, las Hipótesis 1 y 2 se convirtieron en las Reglas I y II, la Hipótesis 3 fue suprimida, en la segunda edición apareció la Regla III, en la tercera edición la Regla IV, la Hipótesis 4 se convirtió en la Hipótesis 1, la Hipótesis 5 se transformó en el Fenómeno I, apareció un nuevo planteamiento señalado como Fenómeno II y las Hipótesis de la 6 a la 9 se convirtieron en los Fenómenos del III al VI. Estos cambios podrían parecer no demasiado relevantes, a no ser por el hecho de la evidente obsesión de Newton por hablar con absoluta precisión⁶⁷.

Los 6 fenómenos que aparecen, como tales, en la tercera edición de los *Principia*, son:

Fenómeno I: "Que los planetas circunjovianos, mediante radios trazados al centro de Júpiter, describen áreas proporcionales a los tiempos de descripción, y que sus tiempos periódicos, con las estrellas fijas en reposo, son como la $3/2$ ava potencia de sus distancias a su centro"⁶⁸.

Fenómeno II: "Que los planetas que circundan Saturno describen, mediante radios trazados al centro de Saturno, áreas proporcionales a los tiempos de descripción, y que sus tiempos periódicos, con las estrellas fijas en reposo, son como la $3/2$ ava potencia de sus distancias a su centro"⁶⁹.

asiento de la sensación, para producir allí en nuestra mente las ideas particulares que tenemos acerca de dichos objetos". (Locke, J., (1999), p. 114).

⁶⁷ En los *Principia* (en su versión final) Newton utiliza como clasificación los siguientes términos: Definiciones, escolios, axiomas o leyes, corolarios, lemas, proposiciones-teorema, proposiciones-problema, experimentos (al interior de un escolio), hipótesis, reglas, fenómenos y un escolio general.

En la *Óptica*, los términos utilizados son: Definiciones, axiomas, proposiciones-teorema, experimentos, escolios, proposiciones-problema, observaciones, proposiciones, observaciones y cuestiones (*queries*).

⁶⁸ Newton, I., (1982), p. 661.

⁶⁹ *ibíd.*, pp. 662-663.

Fenómeno III: "Que los cinco planetas primarios, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, giran en sus diversas órbitas alrededor del Sol"⁷⁰.

Fenómeno IV: "Que, con las estrellas fijas en reposo, los tiempos periódicos de los cinco planetas primarios y (tanto del Sol en torno a la Tierra como) de la Tierra en torno al Sol son como la 3/2 ava potencia de sus distancias medias al Sol"⁷¹.

Fenómeno V: "Que los planetas primarios no describen mediante radios trazados a la Tierra áreas en absoluto proporcionales a los tiempos, pero las áreas que describen mediante radios trazados al Sol son proporcionales al tiempo de descripción"⁷².

Fenómeno VI: "Que la Luna, mediante un radio trazado al centro de la Tierra, describe un área proporcional al tiempo de descripción"⁷³.

Como es evidente, el concepto de fenómeno no se refiere únicamente (como podría parecer en primera instancia) a lo que se puede detectar a través de los sentidos, sino que también se consideran como fenómenos a lo que sea inferido a partir de las observaciones, llegándose incluso a considerar como fenómenos a las Leyes de Kepler. Para Newton, tanto lo observado como lo que se infiera de dichas observaciones, debe considerarse como no sujeto a controversia y es sobre la base de estos cimientos, anclados en la experiencia, que debe construirse el edificio de la ciencia.

El concepto de fenómeno era tan importante para Newton, que redactó varias formulaciones al respecto, las cuales finalmente nunca aparecieron publicadas. En una de ellas, que estaba destinada a aparecer en la segunda edición de los *Principia*, Newton planteaba 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. Todas estas cosas son sensibles y pueden ser llamados fenómenos en un sentido muy amplio, y yo entiendo al mundo en un sentido muy amplio"⁷⁴.

⁷⁰ ibíd., p. 664.

⁷¹ ibíd., p. 664.

⁷² ibíd., p. 665.

⁷³ ibíd., p. 666.

⁷⁴ En Guillaumin, G., (1997), p. 43.

Otra formulación similar formaba parte de la Regla V, que finalmente nunca se publicó y a la que haré referencia más adelante.

Dado que dicho concepto de fenómeno es el fundamento sobre el que plantea la construcción teórica ulterior, llama la atención que en la *Óptica* no aparezcan, bajo este título, los elementos empíricos que dan sustento a las conceptualizaciones, siendo que, adicionalmente, esta obra es de corte estrictamente experimental. En lugar de fenómenos, Newton plantea un conjunto de experimentos y observaciones⁷⁵. Los experimentos y las observaciones caben perfectamente dentro de esa visión amplia de fenómeno a la que hace referencia Newton y tan es así que en la Parte III del Libro II, al esbozar lo que sigue a continuación, Newton señala que lo que procede es "... examinar la relación existente entre los fenómenos de las láminas transparentes y los de los demás cuerpos naturales..."⁷⁶, y en la Parte IV del Libro II señala que al observar "... por primera vez algunos fenómenos de esta luz dispersa, me resultaron muy extraños y sorprendentes. Mis observaciones fueron como sigue..."⁷⁷.

Pareciera ser que la noción de fenómeno y las de observación y experimento, son inclusivas, es decir que el término fenómeno es más amplio e incluye a los experimentos y las observaciones, que no obstante su carácter de constructo observacional, no por eso dejan de procesarse a través de los sentidos, mientras que los fenómenos descritos en los *Principia*, difícilmente pueden tener esta característica ya que, por ejemplo, nadie ha observado (con los sentidos) que el movimiento de la Luna, en torno a la Tierra, describa un área proporcional al tiempo (Fenómeno VI)⁷⁸.

Lo que resulta evidente, tanto en los *Principia* como en la *Óptica*, es que el planteamiento newtoniano es el de partir desde lo dado o lo conocido, de lo que no se puede dudar, es decir de los fenómenos, y con base en ellos ir generalizando, como explica el propio Newton en el Escolio General de los *Principia*, cuando asegura que "... las proposiciones particulares se infieren a partir de los fenómenos, para luego generalizarse mediante inducción..."⁷⁹.

En el planteamiento newtoniano está implícito el hecho de que los fenómenos tienen determinadas propiedades u obedecen ciertas regularidades que permiten inferir, inductivamente, propiedades generales, de observancia

⁷⁵ En el Libro I se encuentran 33 experimentos (16 en la Parte I y 17 en la II), en el Libro II hay 37 observaciones (24 en la Parte I y 13 en la IV), mientras que en el Libro III se plantean 11 observaciones.

⁷⁶ Newton, I., (1977), p. 217. El subrayado es mío.

⁷⁷ ibíd., p. 253. El subrayado es mío.

⁷⁸ Probablemente Newton no utilizó el término amplio de fenómeno sino el restringido de observación, para intentar hacer claro su planteamiento, después de la gran polémica desatada por su primer escrito de óptica. No hay que olvidar que el libro está dirigido, según palabras de Newton, a "... aquellos lectores de inteligencia rápida y buen entendimiento que no estén versados en óptica..." (Newton, I., (1977), p. 26), mientras que en los *Principia* aparecen muchas proposiciones "... que pueden costar demasiado tiempo incluso a los lectores doctos en matemáticas". (Newton, I., (1982), p. 656).

⁷⁹ Newton, I., (1982), p. 817.

universal para todos los fenómenos del mismo tipo. Esto se basa en la convicción de que "... la naturaleza será muy simple y concorde consigo misma..."⁸⁰.

Newton está claro de que "... aunque los argumentos a partir de observaciones y experimentos por inducción no constituyan 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 más general sea la inducción. Si de los fenómenos no surge ninguna excepción, las conclusiones pueden proclamarse en general..."⁸¹.

II.2 El Método de Análisis-Síntesis

La concepción metodológica newtoniana proviene, a decir de Newton, de las matemáticas y constituye el método de análisis⁸², 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..."⁸³.

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..."⁸⁴.

Una vez completado el proceso de análisis, se ha de proceder a lo que Newton denomina el método de composición o síntesis⁸⁵, que "... consiste en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios y en explicar con

⁸⁰ Newton, I., (1977), pp. 342-343.

⁸¹ ibíd., p. 349.

Esta afirmación fue añadida en la segunda edición de la *Óptica* (1717) y representa una versión mucho más pragmática que lo planteado en la Regla IV de los *Principia*, como se verá más adelante en las Reglas para Filosofar.

El ablandamiento en la posición de Newton puede deberse a la influencia de Locke, para el que no es posible que "... nuestro conocimiento acerca de las verdades universales relativas a los cuerpos naturales sea un conocimiento seguro, y nuestra razón, a este respecto, nos lleva muy poco más allá de asuntos de hechos particulares". (Locke, J., (1999), p. 555). Locke duda de que "... por más que el ingenio humano logre adelantar los conocimientos de la filosofía pragmática y experimental acerca de las cosas físicas, el conocimiento científico llegue a estar a nuestro alcance, ya que carecemos de ideas perfectas y adecuadas, hasta de los cuerpos que están más cerca de nosotros y más directamente a nuestra disposición". (Locke, J., (1999), pp. 555). De forma tal que, para Locke, "... no podemos ir más allá de lo que nos descubre la experiencia como un asunto de hecho, de donde podemos después conjeturar, por analogía, que efectos producirán probablemente semejantes cuerpos cuando se sometan a otras experiencias". (Locke, J., (1999), p. 559).

⁸² cfr. Newton, I., (1977), p. 349.

⁸³ Newton, I., (1977), p. 349.

Con respecto a las hipótesis, más adelante me referiré a ellas.

⁸⁴ ibíd., p. 349.

⁸⁵ ibíd., p. 349.

ellos los fenómenos, procediendo a partir de ellas y demostrando las explicaciones..."⁸⁶.

En este sentido, la síntesis, por un lado, requiere del análisis y por otro, lo complementa, de forma tal que partiendo 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 único procedimiento de análisis-síntesis, en el que cada uno de dichos elementos opera independientemente, en momentos sucesivos, sin perder por ello el carácter unitario⁸⁷. Esto es relevante, en la medida de 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 alternativos para llegar a las ideas claras y distintas⁸⁸.

El método de análisis-síntesis es planteado por Newton, básicamente en la Cuestión 31 de la *Óptica* y 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 describan el resto de los fenómenos, lo cual demuestra que es un planteamiento general aplicable tanto en la investigación que avanza a través de observaciones directas y experimentos, tal es el caso de la *Óptica*, como la investigación que plantea explícitamente la matematización de la experiencia, que es el caso de los *Principia*. Estos dos libros, no obstante sus aparentes semejanzas estructurales, son tan diferentes que incluso autores tan prestigiados como Cohen han señalado que los "... estudios de Newton sobre los fenómenos ópticos, la química, la teoría de la materia... y otras áreas de la filosofía experimental, no muestran con fortuna el estilo newtoniano"⁸⁹.

⁸⁶ ibíd., p. 349.

⁸⁷ cfr. Feher, M., (1986), p. 60-62.

El esquema de análisis-síntesis, a decir de Marta Feher, rompe con uno de los requerimientos metodológicos fundamentales del aristotelismo, el requerimiento de inteligibilidad, según el cual, lo menos conocido debe ser explicado en términos de lo mejor conocido. Newton invierte este postulado ya que explica lo más conocido no sólo a través de lo menos conocido sino incluso de lo desconocido, como se observa en su aseveración de que "Hasta aquí hemos explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza gravitatoria, pero no hemos asignado aún causa a esa fuerza". (Newton, I., (1982), p. 816).

⁸⁸ cfr. Guerlac, H., (1973), p. 378-391.

⁸⁹ Cohen, I. B., (1983), p. 35.

En esta obra, Cohen plantea que en "... los *Principia*, el papel desempeñado por la inducción es mínimo y apenas hay algún rastro de ese análisis que, según Newton, debería preceder siempre a la síntesis". (Cohen, I. B., (1983), p. 34).

Efectivamente, las diferencias entre los enfoques experimental y matemático, presentes en la *Óptica* y los *Principia*, lleva a preguntarse acerca del carácter de ambos, dentro del esquema análisis-síntesis que Newton recomienda como método para la Filosofía Natural y que asegura haber seguido en su trabajo en ambas ramas del conocimiento.

En la *Óptica*, el Libro I empieza con la aclaración relativa a que la pretensión no es la de "... explicar mediante hipótesis las propiedades de la luz, sino presentarlas y probarlas mediante la razón y los experimentos"⁹⁰, para pasar inmediatamente a plantear 8 definiciones y 8 axiomas⁹¹. Estos ocho axiomas representan "... todo cuanto hasta ahora ha sido tratado en óptica"⁹². Efectivamente, estos axiomas, a diferencia de los 3 axiomas de los *Principia*, no representan nada nuevo, siendo los 5 primeros las leyes clásicas de la reflexión y refracción y los 3 últimos tratan de cuestiones elementales de la óptica geométrica.

La estructura de la *Óptica* es peculiar ya que consta, al igual que los *Principia*, de 3 libros, pero a diferencia de esta última obra, que se va desarrollando hasta llegar, en el Libro III (*El Sistema del Mundo*), al *grand finale*, la trama de la *Óptica* se va debilitando, de tal manera que en el Libro I las proposiciones se demuestran a partir de experimentos, en el Libro II ya no es tan seguro y consta de observaciones y consideraciones respecto a ellas, planteando 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 las famosas 31 cuestiones, de forma tal que la *Óptica* empieza probando, con base en experimentos y termina preguntando, basándose en especulaciones.

II.3 Experimentación y Matematización

Es precisamente en el Libro I de la *Óptica* donde puede observarse con mayor claridad la operación del método de análisis-síntesis vinculado con la experimentación. La Parte I inicia con una proposición relativa a que la luz que difiere en color, difiere también en grado de refrangibilidad⁹³, 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..."⁹⁴ miró "... dicho papel a través de un prisma sólido..."⁹⁵, giró "... hacia arriba el ángulo de refracción del prisma..."⁹⁶ y así sucesivamente, para concluir

⁹⁰ Newton, I., (1977), p. 9.

⁹¹ Curiosamente, estos axiomas de la *Óptica* no desempeñan ningún papel relevante en el entramado de la obra, a diferencia de los axiomas de los *Principia*, que son nada menos que las tres Leyes de Newton.

⁹² Newton, I., (1977), p. 26.

⁹³ cfr. Newton, I., (1977), pp. 27-31.

⁹⁴ Newton, I., (1977), p. 27.

⁹⁵ ibíd., p. 27.

⁹⁶ ibíd., p. 27.

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"⁹⁷. Una vez hecho esto, el Experimento 2 se concatena con el 1 pues en "... torno al antedicho papel... enrollé varias veces un hilo sutil de seda negra..."⁹⁸ 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..."⁹⁹, 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"¹⁰⁰. Es decir que lo que ha hecho Newton es plantear una proposición que ha demostrado, parcialmente, basado en dos experimentos. A continuación, plantea una segunda proposición, relativa a que la luz del Sol consta de rayos de diferente refrangibilidad¹⁰¹, que como es obvio es una proposición concatenada con la anterior. Para la demostración de esta proposición y lo que resta de la 1, Newton plantea tres experimentos (Experimentos 3, 4 y 5). Los dos primeros le permiten concluir que "... para incidencias iguales, hay una considerable desigualdad de refracciones"¹⁰², aunque como Newton señala, "... estos experimentos no muestran todavía, como lo harán los que siguen, de dónde surge esta desigualdad..."¹⁰³. 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, paralelamente, completando la demostración de las proposiciones generales. En el Experimento 5 Newton agrega un segundo prisma inmediatamente después del primero e incluso nos dice, a manera de comentario (en la ilustración del Experimento) que "Algunas veces, puse un tercer prisma tras el segundo y aún un cuarto tras el tercero..."¹⁰⁴, lo cual muestra como va enriqueciendo el fenómeno (entendido a la Newton), hasta arribar a conclusiones que se convierten en principios. 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 que no es, simplemente, una conceptualización que opere en un ámbito nuevo en el que no hay planteamientos alternativos, sino que, por el contrario, 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 a través de mecanismos *ad hoc*. Por esta razón, el

⁹⁷ ibíd., p. 28.

⁹⁸ ibíd., p. 29.

⁹⁹ ibíd., p. 30.

¹⁰⁰ ibíd., p. 31.

¹⁰¹ cfr. Newton, I., (1977), p. 32-62.

¹⁰² Newton, I., (1977), p. 38.

¹⁰³ ibíd., p. 38. El subrayado es mío.

¹⁰⁴ ibíd., p. 42.

Experimento 6 es planteado por Newton como el *experimentum crucis*¹⁰⁵, 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 (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..."¹⁰⁶, 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 dilatados..."¹⁰⁷. Ante esta evidencia, Newton está posibilitado para asegurar que, el *experimentum crucis* "... demuestra tanto la primera como la segunda proposición"¹⁰⁸. Como colofón a lo anterior, todavía Newton plantea cuatro Experimentos más (7, 8, 9 y 10) para concluir que todo "... esto confirma no sólo la primera proposición, sino también la segunda"¹⁰⁹. Todavía en el Escolio propone unir dos experimentos, para que la conclusión se haga "... aún más clara..."¹¹⁰ y sea "... manifiesto que la luz del sol es una mezcla

¹⁰⁵ La idea de experimento crucial, que permite decidir de manera unívoca entre dos o más opciones, proviene de Bacon, que en el aforismo XXXVI del Libro II del *Novum Organum* se refiere a una *instantiae crucis* o experimento crucial tal que, cuando "... en la investigación de cualquier naturaleza, el entendimiento está tan equilibrado como para no saber con seguridad a cuál de dos o más naturalezas ha de asignarse la causa de la naturaleza en cuestión, teniendo en cuenta la aparición frecuente y ordinaria de diversas naturalezas, entonces los casos de experiencias cruciales muestran que la unión de una de las naturalezas con la naturaleza en cuestión es segura e indisoluble, mientras que la de la otra es incierta y separable. De este modo se decide la cuestión y la primera naturaleza es admitida como la causa, mientras que la otra es desestimada y rechazada". (Bacon, F., (1980a), p. 164).

El primero en utilizar el término *experimentum crucis* no fue Newton, sino Hooke, en la Observación 9 de la *Micrographia*, al pretender decidir entre la hipótesis cartesiana de los colores y la suya. El propio Hooke reconoce su deuda con Bacon al plantear que "... este experimento demostrará ser de éstos que nuestro tres veces excelente Verulamio denomina *experimentum crucis*". (Hooke, R., (1989), p. 244).

Este *experimentum crucis* fue planteado por Newton desde el primer escrito, de 1672, sobre la naturaleza de la luz y el color, que es el origen de su controversia con Hooke.

¹⁰⁶ Newton, I., (1977), p. 48.

¹⁰⁷ En Cohen, I.B., Hall, M.B. and Schofield, R., (eds.), (1978), p. 134.

¹⁰⁸ Newton, I., (1977), p. 48. El subrayado es mío.

Sin embargo, algunos autores han puesto en duda el carácter determinante del *experimentum crucis*. Por ejemplo, Sabra plantea que "El efecto de esta demostración es, debe admitirse, casi hipnótico. Sin embargo, es ciertamente no concluyente ¿Por qué debe tener el segundo prisma el mismo efecto en un rayo coloreado que el que tiene el primero en un rayo blanco? ¿Y por qué no una propiedad adquirida por la luz blanca, a través de una primera refracción, permanece inalterada al sufrir refracciones posteriores?"

Algunos de los contemporáneos de Newton vieron lo no concluyente del argumento; es curioso que la mayoría de los historiadores de la ciencia hayan caído bajo su hechizo". (Sabra, A.I., (1967), pp. 250-251).

¹⁰⁹ Newton, I., (1977), p. 61.

¹¹⁰ *ibíd.*, p. 61.

heterogénea de rayos, unos de los cuales son más refrangibles que los otros..."¹¹¹.

El método expuesto le permite a Newton, a lo largo de todo el Libro I, demostrar 14 proposiciones y resolver 8 problemas¹¹², 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 causas¹¹³.

Como ya se señaló con anterioridad, el resto de la *Óptica* no es tan implacable, como se observa por ejemplo en la Proposición VII de la Parte III del Libro II, que se refiere a que el "... tamaño de las partes componentes de los cuerpos naturales se puede conjeturar a partir de sus colores"¹¹⁴, en la que acepta el carácter especulativo de la proposición relativa al tamaño de los corpúsculos¹¹⁵ y en la que, incluso, empieza asegurando que "... es muy probable que las partes de esos cuerpos..."¹¹⁶, que es una forma de hablar mucho más cuidadosa que la que utiliza Newton cuando considera que efectivamente tiene la evidencia sólida para hacer aseveraciones tajantes.

Como ejemplo de cómo opera la síntesis, basta mencionar la Proposición XIV (Libro II, Parte III), en la que para probar dicha proposición utiliza a las Proposiciones I, VIII y IX, elevadas a la categoría de principios, de manera que todo "... ello junto apoya y precisa tanto ésta como la última proposición"¹¹⁷.

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

¹¹¹ ibíd., p. 62.

¹¹² Problemas del tipo: ¿Cómo acortar los telescopios?, ¿Cómo separar entre sí los rayos heterogéneos de la luz compuesta? o averiguar el color del compuesto, dada la calidad y cantidad de cada uno de los colores primarios de una mezcla.

¹¹³ Aunque en realidad, si se sigue únicamente la lógica expositiva, ignorando lo que Newton dice al respecto de la metodología usada, podría decirse que se demuestran las causas de los fenómenos, a través de experimentos.

¹¹⁴ Newton, I., (1977), p. 225. El subrayado es mío.

¹¹⁵ En esta proposición, por primera vez Newton habla explícitamente de corpúsculo, aunque es obvio que la idea de corpúsculo la tenía en la cabeza desde la primera definición en la que señala que "Por rayos de luz entiendo las partes menores de la misma, tanto las sucesivas en la misma línea como las contemporáneas en diversas líneas". (Newton, I., (1977), p. 9). En realidad, la concepción corpuscular marca todo el discurso de la *Óptica* y la polémica con Hooke debe verse como una confrontación en la que este elemento es crucial. Esto se ampliará más adelante al tratar el tema de las hipótesis.

¹¹⁶ Newton, I., (1977), p. 225.

¹¹⁷ ibíd., p. 249.

demuestran mediante la aplicación de técnicas matemáticas"¹¹⁸. La pretensión matemática de Newton se ve confirmada por algunas de sus aseveraciones en las que, 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"¹¹⁹. En este sentido "... la ciencia de los colores se convierte en una teoría tan genuinamente matemática como cualquier otra parte de la óptica..."¹²⁰, 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..."¹²¹ pero "... su verdad se pone de manifiesto por los experimentos"¹²², 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 razonar¹²³.

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 los setentas. En el famoso escrito *A New theory about light and colors*¹²⁴, de 1672, 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"¹²⁵.

¹¹⁸ Cohen, I.B., (1983), p. 155.

En tanto que estructura general, la *Óptica* se parece mucho a los *Principia*, aunque en un sentido estricto, estos libros difieren incluso en el tipo de lenguaje del autor.

¹¹⁹ Newton, I., (1977), p. 118. El subrayado es mío.

¹²⁰ *ibíd.*, p. 215. El subrayado es mío.

¹²¹ *ibíd.*, p. 212. El subrayado es mío.

¹²² *ibíd.*, p. 212.

¹²³ En este sentido, Guerlac ha señalado que la *Óptica* "... difícilmente se puede considerar no-matemática, por más que para su comprensión se precisa poco más que algo de geometría y aritmética simple. En espíritu, constituye un ejemplo del modo matemático de Newton... Allí donde es aplicable, y lo es en la mayor parte de las veces, su lenguaje de descripción experimental es el lenguaje del número y la medida. Eso es lo que otorga a los experimentos de Newton su particular fuerza". (Guerlac, H., (1973), p. 389).

Como se puede observar, incluso Guerlac, que intenta defender la postura de que la *Óptica* es una obra matemática, reconoce que es la parte experimental la que le otorga valor a esta obra.

¹²⁴ Este escrito apareció en *Philosophical Transactions*, a la manera de una carta a Henry Oldenburg, Secretario de la Royal Society.

¹²⁵ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), pp. 119-120.

Este pasaje fue omitido en la publicación de *Philosophical Transactions*. (cfr. Shapiro, A.E., (1984)).

Una carta a Oldenburg, en la que Newton pretende dar respuesta a los ataques de Hooke, aclara el papel que le 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, 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... 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"¹²⁶.

De la cita anterior se desprende la forma de operación del método de análisis-síntesis, en el que los experimentos y la matemática 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 que Newton no logró llevar hasta sus últimas consecuencias su proyecto inicial de matematización, como lo demuestran las *Lectioes Opticae*¹²⁷. El capítulo I de dichas *Lectioes* es básicamente matemático y en él plantea una ley de dispersión, sobre la que piensa erigir la ciencia matemática de los colores. Esta ley no la deduce e incluso plantea lo que Lohne denomina el "... pasaje más pasmoso que Newton haya escrito en sus trabajos científicos..."¹²⁸:

"Todavía no he verificado este teorema a través de experimentos. Pero me parece que ciertamente no puede diferir mucho de la verdad, y no tengo

Como señala Solís en las notas a la Introducción de la *Óptica*, "Newton alude a la óptica geométrica, ciencia matemática desde los tiempos clásicos. Lo que propone es convertir la ciencia baconiana de los naturalistas, acerca de los colores, en una disciplina matemática y, por tanto, demostrativa". (Solís, C., (1977), p. LV).

¹²⁶ En Burt, E.A., (1954), pp. 220-221. El subrayado es mío.

¹²⁷ Las *Lectioes Opticae* son las lecciones que dictaba Newton como parte de sus responsabilidades por detentar la Cátedra Lucasiana en Cambridge. Fueron elaboradas entre 1670 y 1672 y existen dos versiones de ellas. De acuerdo con los estatutos que regían en la Universidad de Cambridge, en 1674 depositó una copia de ellas en la Biblioteca de la Universidad. Estas *Lectioes* iban a ser publicadas, pero finalmente Newton decidió que no se hiciese. Fueron publicadas en 1728, un año después de la muerte de Newton.

¹²⁸ Lohne, J., (1962), p. 397.

escrúpulos en asumirlo, actualmente, sin pruebas. Más tarde deberé confirmarlo por experimentos o, si lo encuentro erróneo, corregirlo"¹²⁹.

Las *Lectioes* incluyen algunos desarrollos interesantes, muchas cosas incorrectas, una curiosa división musical del espectro¹³⁰, pero nada parecido a una sólida estructura matemática que dé razón de los fenómenos, en concordancia con lo asegurado por él en dichas *Lectioes* cuando escribía que "... la generación de los colores incluye tanta geometría y el entendimiento de los colores está sustentado por tanta evidencia que, en beneficio de ellos, puedo intentar extender los límites de las matemáticas... justo como en la astronomía, geografía, navegación, óptica y mecánica, que son verdaderamente consideradas como ciencias matemáticas a pesar de que ellas tratan con cosas físicas... Así, aunque los colores pueden pertenecer a la física, la ciencia de ellos debe sin embargo ser considerada matemática... Pero verdaderamente con la ayuda de los géometras filósofos y de los filósofos géometras, en lugar de las conjeturas y probabilidades que están siendo alardeadas por todas partes, finalmente alcanzaremos una ciencia natural sostenida por la mayor evidencia..."¹³¹.

El majestuoso proyecto de las *Lectioes Opticae* fue abandonado y cuando, finalmente, fue publicada la *Óptica*, únicamente incluyó algunos resultados cuantitativos de ellas e incluso consideró necesario desaprobarlas públicamente en la Advertencia I al señalar que:

"Cualesquiera otros escritos que hayan salido de mis manos sobre este tema son imperfectos y tal vez hayan sido compuestos antes de haber realizado todos los experimentos aquí establecidos y de haberme sentido plenamente satisfecho con las leyes de la refracción y de la composición de los colores. Publico aquí todo cuanto considero digno de aparecer a la luz..."¹³².

Del proyecto newtoniano de matematizar los estudios ópticos, sólo quedó la confesión de que en la *Óptica* "... no pretendo explicar mediante hipótesis las propiedades de la luz, sino presentarlas y probarlas mediante la razón y los experimentos"¹³³.

¹²⁹ En Lohne, J., (1962), p. 397.

¹³⁰ Sumándose, como Kepler, a la larga cadena de buscadores de armonías musicales en la Naturaleza. (cfr. Gouk, P., (1989).

¹³¹ En Shapiro, A.E., (1984), p. 36.

¹³² Newton, I., (1977), p. 3.

¹³³ ibíd., p. 9. El subrayado es mío.

Podría decirse de Newton, lo que señala Cassirer, refiriéndose a Locke, al plantear que "... en el terreno de las ciencias naturales, es empirista por resignación..." (Cassirer, E., (1993), p. 226), ya que el experimento es, a fin de cuentas, un recurso obligado del saber. (cfr. Cassirer, E., (1993), pp. 195-236).

Donde puede apreciarse con toda claridad el papel que le asignaba Newton a las matemáticas es en los *Principia* que, desde su título completo, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*¹³⁴, se explicita el objetivo del libro. En el prefacio a la primera edición¹³⁵, 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 está 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..."¹³⁶.

La cita anterior esboza el proyecto de los *Principia*, que empieza con un conjunto de definiciones en las que establece conceptos tales como masa, cantidad de movimiento, fuerza impresa, fuerza centrípeta y otros (8 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 movimiento¹³⁷. Las leyes vienen acompañadas de seis corolarios, dos 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

¹³⁴ *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*.

¹³⁵ En vida de Newton, aparecieron tres ediciones latinas, la de 1687, cuyo editor fue Edmond Halley; la de 1713 de Roger Cotes y la de 1726 de Henry Pemberton. En 1729, dos años después de la muerte de Newton, apareció la primera edición inglesa, cuyo editor fue Andrew Motte.

Las tres ediciones latinas aparecidas en vida de Newton pueden consultarse en:
<http://dibnst.mit.edu/BURNDY/Collections/Babson/OnlineNewton/Principia.htm>

¹³⁶ Newton, I., (1982), p. 199-200.

¹³⁷ Las famosísimas tres Leyes de Newton, que a la letra dicen:

Ley I. "Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas". (Newton, I., (1982), p. 237).

Ley II. "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza". (Newton, I., (1982), p. 237).

Ley III. "Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias". (Newton, I., (1982), p. 238).

empieza a plantear los principios matemáticos necesarios para el quehacer de la Filosofía Natural, terminando esta especie de introducción con un escolio. Inmediatamente vienen los tres libros que componen los *Principia*¹³⁸. Los Libros I y II se proponen tratar aspectos puramente matemáticos, que posibilitan, a decir de Newton, "... fundamentar nuestros razonamientos en asuntos filosóficos..."¹³⁹, 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..."¹⁴⁰.

Los Libros I y II representan la construcción de una extraordinaria maquinaria matemática¹⁴¹ 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, cometas, la Luna y las mareas, lo cual representa el método de análisis-síntesis en su más brillante y completa exposición.

La separación entre Matemática 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 cuasi-física¹⁴² 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 (de no mediar un error), pero,

¹³⁸ A diferencia de la *Óptica*, que empieza con el Libro I y en él se encuentran las definiciones y los axiomas, en los *Principia* las definiciones y los axiomas están colocados antes de empezar.

¹³⁹ Newton, I., (1982), p. 655.

¹⁴⁰ *ibíd.*, p. 655.

¹⁴¹ En tono burlón, Newton dice, al principio del Libro III, que en las proposiciones contenidas en los Libros I y II "... abundan algunas que pueden costar demasiado tiempo incluso a los lectores doctos en matemáticas. Bastará con que se lean cuidadosamente las Definiciones, las Leyes del Movimiento, y las tres primeras secciones del Libro primero, para pasar luego a este Libro sobre el sistema del mundo, consultando las demás Proposiciones de los otros dos según lo requieran su arbitrio y las referencias del texto". (Newton, I., (1982), pp. 655-656).

¹⁴² El referente físico que utiliza Newton en sus constructos matemáticos es tan evidente que, incluso, se da el lujo de hacer pequeños guiños a los lectores, como sucede en la Proposición III. Teorema III de la Sección II (Libro I), cuando al analizar el caso de un cuerpo que gira en torno a otro, la demostración empieza diciendo "Sea L el primer cuerpo, y sea T el segundo...", (Newton, I., (1982), p. 274) en clara alusión a la Luna y a la Tierra (Luna y Terra en latín). Es tan obvia la referencia, que un traductor que intentara expresar al máximo el espíritu newtoniano, en la versión inglesa debería traducir esta proposición como: Sea M el primer cuerpo, y sea E el otro, lo cual, desafortunadamente, no ha ocurrido.

desafortunadamente para él, fue atacado en sus conclusiones, omitiendo las premisas¹⁴³.

Como ejemplo de esta forma de aproximación matemática al mundo físico, baste ver la introducción a la Sección XI (Libro I), en la que Newton aclara que he "... estado exponiendo las atracciones de cuerpos hacia un centro inmóvil, aunque muy probablemente no exista cosa semejante en la naturaleza de las cosas"¹⁴⁴. 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"¹⁴⁵. 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"¹⁴⁶, aunque en estricto rigor físico, pudieran llamarse más apropiadamente impulsos. Pero estas Propositiones deben considerarse puramente matemáticas: en esta medida, prescindiendo de cualesquiera consideraciones físicas, utilizo un discurso llano para hacerme comprender mejor por un lector matemático"¹⁴⁷. Los resultados matemáticos que demuestra a continuación, serán 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,

¹⁴³ En el *Journal des Sçavans* del 2 de agosto de 1688, apareció una reseña de los *Principia* en la que el autor, probablemente Pierre Silvain Régis, alaba (irónicamente) el libro de Newton asumiéndolo como una obra estrictamente matemática, sin percatarse del carácter diferente de los dos primeros libros en comparación con el tercero, señalando, entre otras cosas, que Newton "... basa la explicación de la desigualdad de las mareas en el principio de que todos los planetas gravitan mutuamente unos hacia otros... Si bien dicha suposición es arbitraria y no ha sido demostrada... Para ser un *opus* lo más perfecto posible, el Señor Newton no tiene más que darnos una Física tan exacta como su Mecánica, cosa que hará cuando ponga movimientos verdaderos en lugar de esos que ha supuesto". (En Cohen, I.B., (1983), p. 118).

¹⁴⁴ Newton, I., (1982), p. 404.

¹⁴⁵ ibíd., p. 404.

¹⁴⁶ En el Escolio a la sección XI, Newton aclara que se usa la "... palabra atracción en general, indicando cualquier esfuerzo hecho por los cuerpos para aproximarse entre sí, ya sea que surja de la acción de los cuerpos mismos tendiendo los unos hacia los otros o perturbándose los unos a los otros por espíritus emitidos; ya sea que surja por la acción del éter o del aire, o de cualquier medio corpóreo o incorpóreo, de cualquier modo que impela a los cuerpos allí situados los unos hacia los otros". (Newton, I., (1982), p. 434).

¹⁴⁷ Newton, I., (1982), p. 404. El subrayado es mío.

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"¹⁴⁸.

Otro ejemplo de esta manera de utilizar los constructos matemáticos se da en el Libro II. En la Sección I de dicho libro, Newton se dedica a demostrar proposiciones relativas al movimiento de los cuerpos que sufren una resistencia proporcional a su velocidad para, en el Escolio a dicha Sección, aclarar que dicho caso "... es más una hipótesis matemática que una hipótesis física. En medios libres de cualquier tenacidad, las resistencias opuestas a los cuerpos son como el cuadrado de las velocidades"¹⁴⁹, por lo que en la Sección II (Libro II) se dedica a analizar proposiciones matemáticas que cumplan con esta condición y más aún, en la Sección III del mismo Libro ataca el problema de cuerpos que en su movimiento sufren una resistencia que en parte depende de la velocidad y en parte depende de la velocidad al cuadrado. Como se puede observar, los *Principia* avanzan basándose en constructos idealizados que van complicándose, de forma que las proposiciones demostradas pueden, eventualmente, ser trasladadas al mundo de los fenómenos, aplicándole a ellos, las consecuencias derivadas del tratamiento puramente matemático.

También en el Libro II, Newton empieza a analizar los problemas relativos a los fluidos¹⁵⁰ para, una vez caracterizados éstos, sus movimientos y en particular el movimiento circular de los mismos (Sección IX), arribar, en la Proposición LII. Teorema XL, al análisis de vórtices, lo cual le permite a Newton "... investigar las propiedades de los vórtices con el fin de determinar si los fenómenos celestes pueden explicarse recurriendo a ellos"¹⁵¹. Evidentemente, todo este edificio conceptual va encaminado no a la validación matemática, vía los fenómenos, de una concepción sino, por el contrario, a la refutación de un planteamiento específico, el modelo cosmológico cartesiano. En este punto, Newton viola¹⁵² (ligeramente) su propia estructura pues señala que "... el hecho es que los tiempos periódicos de los planetas que giran en torno a Júpiter son como la $3/2$ ava potencia de sus distancias al centro de Júpiter; y la misma regla se aplica también a los planetas que giran en torno al Sol... En consecuencia, si los mencionados planetas se desplazan en vórtices que giran en torno a Júpiter y el Sol, los vórtices deberán girar conforme a aquella ley. Pero aquí hemos determinado que los tiempos periódicos de las partes del vórtice son como el

¹⁴⁸ ibíd., p. 434. El subrayado es mío.

¹⁴⁹ ibíd., p. 490.

¹⁵⁰ Secciones V, VII, VIII y IX.

¹⁵¹ Newton, I., (1982), p. 649.

¹⁵² La violación estructural consiste en que hace referencia a los fenómenos que planteará más adelante en el Libro III y sería de esperarse que retardara su crítica a Descartes, hasta haber planteado los fenómenos. Esta violación puede deberse a que Newton pretende acabar con todos los enemigos (y Descartes era el mayor de ellos) antes de empezar su construcción del Sistema del Mundo, lo cual realiza en el Libro III.

cuadrado de las distancias al centro de movimiento, y esta razón no puede ser disminuida y reducida a la $3/2$ ava potencia..."¹⁵³, con lo que la teoría de los vórtices es refutada matemáticamente, ya que "... es completamente irreconciliable con los fenómenos astronómicos, y confunde más que aclara los movimientos celestes"¹⁵⁴.

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"¹⁵⁵.

Como se puede observar de este ejemplo, la pretensión es la de demostrar, a partir de los fenómenos, utilizando todo el aparato matemático construido con anterioridad¹⁵⁶.

Siguiendo este método de estructuración paulatina, Newton planteará su Principio de Gravitación Universal (Proposición VII. Teorema VII) 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..."¹⁵⁷ por lo que "... la gravitación hacia ellos tiene que ser muy inferior a lo que nuestros sentidos pueden observar"¹⁵⁸.

En la demostración de la Proposición XIII. Teorema XIII, relativa a las (hoy denominadas) dos primeras Leyes de Kepler, Newton acota que "... si el Sol estuviera en reposo y los otros planetas no actuaran unos sobre otros, sus órbitas serían elipses, con el Sol como foco común, y describirían áreas proporcionales a los tiempos de descripción, por las Proposiciones I y XI y el Corolario I de la Proposición XIII, Libro I. Pero las acciones de unos planetas sobre otros son tan

¹⁵³ Newton, I., (1982), p. 649.

¹⁵⁴ ibíd., p. 652.

¹⁵⁵ ibíd., pp. 667-668.

¹⁵⁶ Este estilo, absolutamente novedoso en el siglo XVII, le otorga a los *Principia*, lo que algunos autores (cfr. Jacqueline, D., (1990), p. 659) han denominado virtudes estéticas, tales como simplicidad, generalidad, universalidad y fecundidad explicativa, aunque para Thom: "Descartes, con sus vórtices... explica todo y no calcula nada; Newton... con la... gravitación, calcula todo y no explica nada". (En Feher, M., (1986), p. 60).

¹⁵⁷ Newton, I., (1982), p. 677.

¹⁵⁸ ibíd., p. 677.

reducidísimas que pueden ignorarse... "159, en donde Newton muestra que le es claro que uno es el mundo ideal con simplificaciones y otro el mundo real, en el que 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..."160 por lo que "... el error en su movimiento en torno al Sol... puede casi evitarse... situando el foco inferior de su órbita en el centro común de gravedad de Júpiter y el Sol..."161.

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*¹⁶² (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"¹⁶³. La distinción que traza Newton entre el mundo matemático en el que, por ejemplo, las Leyes de Kepler son exactas, y el mundo físico en el que sólo son aproximaciones es, como señala Cohen, "... uno de los caracteres revolucionarios de la dinámica celeste newtoniana"¹⁶⁴.

La gravitación le permite a Newton, asumiéndola como principio, explicar el resto de los fenómenos, tales como el comportamiento de la Luna¹⁶⁵, las mareas, los cometas, así como la precesión de los equinoccios, con lo que completa el proceso de análisis-síntesis que había anunciado en el prefacio a la primera edición.

II.4 Las Hipótesis

Los *Principia* terminan con el famoso Escolio General, aparecido en la segunda edición, que empieza con la afirmación de que la "... hipótesis de los vórtices se ve acosada por muchas dificultades..."¹⁶⁶, para concluir con que "... hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis. Pues, lo que no se deduce de los fenómenos, ha de ser llamado Hipótesis, y las hipótesis, bien metafísicas, bien físicas, o de

¹⁵⁹ ibíd., p. 684. El subrayado es mío.

¹⁶⁰ ibíd., p. 684.

¹⁶¹ ibíd., p. 684. El subrayado es mío.

¹⁶² *De Motu Sphaericorum Corporum in fluidis*. (cfr. Newton, I., (1965a) y Newton, I., (1978a)).

¹⁶³ Newton, I., (1965a), p. 301.

¹⁶⁴ Cohen, I.B., (1981), p. 128.

¹⁶⁵ Aunque la teoría lunar fue corregida en cada nueva impresión de los *Principia*, nunca le resultó totalmente satisfactoria. La necesidad de datos para el perfeccionamiento de dicha teoría, fue el origen de su agria polémica con Flamsteed. (cfr. Gjertsen, D., (1986), pp. 209-213).

¹⁶⁶ Newton, I., (1987), p. 780. El subrayado es mío.

cualidades ocultas, o mecánicas, no tienen lugar dentro de la Filosofía experimental¹⁶⁷.

Esta aseveración newtoniana ha sido motivo de largas discusiones y malos entendidos que tienen su origen, en primera instancia, en las traducciones de los *Principia*.

Como es bien sabido, las tres ediciones de los *Principia* elaboradas en vida de Newton, fueron escritas en latín y en la segunda y tercera se encuentra el famoso *dictum* newtoniano *hypotheses non fingo*¹⁶⁸.

En 1729 apareció la primera edición inglesa de los *Principia*, traducida por Andrew Motte. En esta versión, que es el origen de la mayor parte de las ediciones posteriores (sobre todo en inglés) de los *Principia*, encontramos como traducción de *hypotheses non fingo*, "... I frame no hypothesis..."¹⁶⁹, que tradicionalmente ha sido traducido al español como "... no imagino hipótesis..."¹⁷⁰. Esta forma de interpretar a Newton ha sido reforzada por las versiones francesas de los *Principia*, las cuales están basadas en la primera edición francesa (1759), elaborada por Madame du Châtelet, en la que dicha aseveración es traducida como "... je n'imagine point d'hypothèses..."¹⁷¹.

Alexandre Koyré, en sus *Newtonian studies*, ha planteado que *fingo* no debe ser traducido como *frame* sino como *feign*, ya que esta última palabra se entiende, unívocamente, como falsedad, mientras que *frame* no lo implica, al menos de manera necesaria¹⁷². Reforzando esta interpretación hay que considerar que en la primera edición latina de la *Óptica* (1706), Newton agregó algunas cuestiones y en particular en la número 20 hace referencia a las hipótesis. En la segunda edición inglesa (1717), la Cuestión 20 se convirtió en la 28 y en ella señala que "Later philosophers banish the consideration of such a cause out of natural philosophy, feigning hypotheses for explaining all things mechanically, and referring other causes to metaphysics; whereas the main business of natural philosophy is to argue from phaenomena without feigning hypotheses, and to deduce causes from effects..."¹⁷³, en la que se observa que el propio Newton, al escribir en inglés, utiliza la acepción *feign* para referirse a las hipótesis. Entendida en este sentido, *hypotheses non fingo* debe ser interpretada

¹⁶⁷ ibíd., p. 785. El subrayado es mío.

¹⁶⁸ cfr. Cohen, I.B., (1978), pp. 240-245.

¹⁶⁹ Newton, I., (1973), p. 547.

¹⁷⁰ Newton, I., (1987), p. 785.

¹⁷¹ Newton, I., (1966), Tomo II, p. 179.

¹⁷² cfr. Koyré, A., (1965), pp. 25-52.

¹⁷³ Newton, I., (1980), p. 528. El subrayado es mío.

En la traducción al inglés de los *Principia* de Cohen y Whitman (1999), estos autores traducen *fingo* como *feign*. (cfr. Newton, I., (1999), p. 943).

Curiosamente, en la versión española de la *Óptica*, al traducir *feign*, Carlos Solís utiliza el término imaginar. (Newton, I., (1977), p. 319). En una versión de 1947, Eugenio Díaz del Castillo, traduce *feign* como forjar. (Newton, I., (1947), pp. 344-345).

como la negación a inventar hipótesis explicativas. De acuerdo con esta acepción, es mucho más adecuada la traducción que hace Escohotado al Escolio General de los *Principia*, al señalar: "... y no finjo hipótesis. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse una hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental"¹⁷⁴.

No es de extrañar que ante este panorama, entre algunos científicos se maneje, popularmente, la idea de que Newton no hacía hipótesis, lo cual se contradice flagrantemente con el hecho de que en la versión última de los *Principia* (tercera edición), Newton plantea, explícitamente, tres hipótesis (una en el Libro II y dos en el III)¹⁷⁵:

"Hipótesis. La resistencia debida a la falta de lubricidad de las partes de un fluido es, en igualdad de las demás condiciones, proporcional a la velocidad con que las partes del fluido se separan unas de otras"¹⁷⁶.

"Hipótesis I. Que el centro del sistema del mundo está inmóvil"¹⁷⁷.

"Hipótesis II. Si las demás partes de la Tierra desaparecieran y el anillo restante fuera trasladado sólo en torno al Sol, en la órbita de la Tierra, por el movimiento anual, mientras el movimiento diario lo hacía girar al mismo tiempo en torno a su eje inclinado hacia el plano de la eclíptica en un ángulo de 23 1/2 grados, el movimiento de los equinoccios sería igual tanto si el anillo fuera fluido, como si consistiera de materia dura y rígida"¹⁷⁸.

Estas hipótesis deben ser entendidas en el sentido de proposiciones que aunque posibles son, de alguna manera, dudosas. En particular, la denominada Hipótesis II era, en la primera edición, un lema que Newton pretendía probar, pero que al no lograrlo fue, finalmente, considerada como hipotética¹⁷⁹.

¹⁷⁴ Newton, I., (1982), p. 817. El subrayado es mío.

¹⁷⁵ En la primera edición, el Libro III empezaba con nueve hipótesis que abarcaban, más o menos, lo que luego se denominó Reglas y Fenómenos.

¹⁷⁶ Newton, I., (1982), p. 640.

¹⁷⁷ ibíd., p. 682.

¹⁷⁸ ibíd., p. 755.

¹⁷⁹ Mientras que la Hipótesis (sin numerar) del Libro II y la Hipótesis II del Libro III se antojan como necesarias en la estructura de los *Principia*, la Hipótesis I del Libro III es, a decir de Barbour, la parte más intrigante de los *Principia*, ya que el hombre que planteó la indistinguibilidad entre el reposo y el movimiento rectilíneo uniforme, parece tener la necesidad de aferrarse, aunque sea hipotéticamente, a la existencia de algo en reposo, algo fijo (cfr. Barbour, T.B., (1989), pp. 642-644). Esto se relaciona con la concepción teológica de Newton, que será analizada en el capítulo relativo a la axiología newtoniana.

La existencia de dichas hipótesis muestra, por un lado, que Newton no rechazaba tajantemente el uso de las mismas y por otro, qué tipo de hipótesis era capaz no sólo de aceptar, sino incluso de plantear explícitamente¹⁸⁰.

La contención metodológica de Newton hizo que en la controversia en torno a la gravedad planteara, explícitamente, en el Escolio General, que lo dicho en los *Principia*, permite explicar "... los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza gravitatoria..."¹⁸¹, pero aclarando que "... no hemos asignado aún causa a esa fuerza"¹⁸². En esta parte puede observarse el cuidado de Newton con respecto a asegurar algo (la causa) sin tener la evidencia empírica suficiente, pero dejando abierta la puerta para que, eventualmente, dicha causa pueda ser descrita, partiendo de los fenómenos. Por el momento considera que "... es bastante que la gravedad exista realmente, y actúe con arreglo a las leyes que hemos expuesto, sirviendo para explicar todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar"¹⁸³.

Esto no quiere decir que Newton no tiene ninguna idea al respecto, de hecho, a lo largo del Escolio General ha intentado mostrar que la causa última (o primera) de todo es Dios "... de quien procede ciertamente hablar en filosofía natural partiendo de los fenómenos..."¹⁸⁴, pero dado que la conexión todavía no ha podido ser construida, el Creador es relegado a este espacio especulativo que es el Escolio General¹⁸⁵, en el que es evidente la tensión entre el deseo de avanzar auténticas hipótesis y la contención metodológica derivada de la falta de evidencias, como se muestra en la parte final del mismo, en el que Newton señala:

"Podríamos ahora añadir algo sobre cierto espíritu sutilísimo que penetra y yace latente en todos los cuerpos grandes, por cuya fuerza y acción las partículas de los cuerpos se atraen unas a otras... Pero éstas son cosas que no pueden ser explicadas en pocas palabras. Por otra parte, tampoco disponemos de

¹⁸⁰ En la primera versión del tratado *De Motu*, que eventualmente se convirtió en los *Principia*, Newton utilizó el término hipótesis para referirse a lo que, ya desde la segunda versión (ampliada) de dicho escrito, denominó leyes. (cfr. Barbour, J.B., pp. 569-571).

La concepción de Newton respecto a las hipótesis debe verse en función del (los) sentido(s) que dicho término tenía en los siglos XVII y XVIII, lo cual se analizará más adelante en la parte correspondiente a la axiología newtoniana.

¹⁸¹ Newton, I., (1982), p. 816.

¹⁸² *ibíd.*, p. 816.

¹⁸³ Newton, I., (1982), p. 817.

¹⁸⁴ *ibíd.*, p. 816.

¹⁸⁵ Newton seguramente no aceptaría que se considerara la existencia de Dios y su operación en el mundo como una hipótesis, sino como algo incontrovertible que, incluso, da sentido a las certezas derivadas de los fenómenos pero, en sentido estricto, al interior de la metodología propuesta por Newton, Dios funciona como una hipótesis que sirve de guía (a él) en la investigación.

El papel de Dios en la obra de Newton será analizada a profundidad en la parte relativa a la axiología newtoniana.

una cantidad suficiente de experimentos para determinar con precisión y demostrar mediante qué leyes opera este espíritu eléctrico y elástico"¹⁸⁶.

Esta necesidad de especular y de trazar líneas de investigación a seguir es aún más evidente en la *Óptica*, en la que pareciera que las controversias sobre el carácter hipotético de sus planteamientos, lo lleva a crear una forma novedosa de especular, pero sin comprometerse acerca de la verdad de las especulaciones. Esta forma, que consiste en preguntarse acerca de los más diversos temas, es la que elige Newton al plantear, en la parte final de la *Óptica*, sus famosas 31 cuestiones¹⁸⁷.

Estas cuestiones versan sobre muchos temas, pudiendo dividirse en tres grandes rubros, de la 1 a la 16 tratan sobre la interacción de la luz con otros cuerpos; de la 17 a la 24 sobre el Éter y de la 25 a la 31 regresa a la luz. En ellas, Newton especula, preguntándose por ejemplo:

- "Cuestión 1. ¿Acaso los cuerpos no actúan a distancia sobre la luz y con su acción doblan los rayos?...
- Cuestión 2. ¿Acaso los rayos que difieren en refrangibilidad no difieren también en reflexibilidad?...
- Cuestión 3. ¿Acaso los rayos de luz...
- Cuestión 4. ¿Acaso los rayos de luz...
- Cuestión 5. ¿Acaso los cuerpos y la luz no actúan mutuamente sobre otros?...
- Cuestión 6. ¿Acaso...
- Cuestión 7. ¿Acaso...
- Cuestión 8. ¿Acaso...
- Cuestión 9. ¿Qué es el fuego, sino un cuerpo calentado hasta el punto de emitir abundante luz?
- Cuestión 10. ¿Acaso...
- Cuestión 11. ¿Acaso...
- Cuestión 12. ¿Acaso...
- Cuestión 13. ¿Acaso...
- Cuestión 14. ¿No pueden surgir...
- .
- .
- .
- Cuestión 31. ¿No poseen las pequeñas partículas de los cuerpos ciertos poderes, virtudes o fuerzas con las que actúan a distancia no sólo sobre la luz,

¹⁸⁶ Newton, I., (1982), p. 817.

¹⁸⁷ En la primera edición inglesa (1704) eran 16. En la primera edición latina (1706) agregó siete, llegando a 23. En la segunda edición inglesa (1717), agregó ocho más, numerándolas de la 17 a la 24, convirtiéndose las que eran de la 17 a la 23 (de la edición latina) en las cuestiones que van de la 25 a la 31. En la segunda edición latina (1719) y la tercera inglesa (1721) no agregó ninguna nueva cuestión.

reflejándola, refractándola o inflexionándola, sino también unos sobre otros, para producir una gran parte de los fenómenos de la naturaleza?...¹⁸⁸.

Las cuestiones representan un gran proyecto de investigación que apunta, interrogativamente, hacia dónde debe dirigirse la atención para corroborar las aseveraciones veladas que se esconden tras el "¿Acaso...". Como ejemplo de ello, basta ver las cuestiones del Éter (17 a la 24) en las que Newton especula sobre la existencia de un Éter, que reconoce abiertamente no saber qué cosa será¹⁸⁹, pero que sin embargo, puede ser causa de la gravedad¹⁹⁰, sin producir alteraciones sensibles en los movimientos planetarios ya que si "... fuese, digamos, 700,000 veces más elástico que nuestro aire, y más de 700,000 veces más raro, su resistencia sería más de 600,000,000 veces menor que la del agua"¹⁹¹.

Como se puede observar, Newton tiene una gran cantidad de hipótesis no demostradas (e incluso indemostrables) que servían de guía en su majestuoso proyecto intelectual que incluía no sólo a la Filosofía Natural, sino también a la Teología y la Alquimia, pero se cuidó muy bien de ubicarlas fuera del *corpus* estricto de su obra en Filosofía Natural.

Todos los elementos de la metodología newtoniana, el papel de los fenómenos, la inducción, el análisis y la síntesis, los experimentos, las matemáticas y las hipótesis, se conjugan y complementan, de alguna manera, con las que Newton denominó Reglas para Filosofar (*Regulae Philosophandi*), que le permiten, entre otras cosas, justificar sus generalizaciones.

II.5 Las Reglas para Filosofar

El Libro III de los *Principia*, en el que Newton se propone analizar el Sistema del Mundo, se inicia con la aseveración de que en los libros anteriores (I y II) se han "... expuesto principios de filosofía, no tanto filosóficos como

¹⁸⁸ Newton, I., (1977), pp. 295-350.

Como se observa del paginado, las cuestiones representan más de un séptimo de la obra y más del doble del resto del Libro III. Llama la atención que la Cuestión 31 (pp. 325-350) tiene un tamaño equivalente a las 30 primeras cuestiones.

¹⁸⁹ En la Cuestión 21 Newton dice que: "... si supusiésemos que el Éter (como nuestro aire) contiene partículas que tratan de apartarse unas de otras (pues no sé qué cosa sea este Éter)...". (Newton, I., (1977), p. 305).

¹⁹⁰ En la Cuestión 21 pregunta: "¿Acaso al alejarse a grandes distancias de ellos no se torna más y más denso, causando con ello la gravedad de esos grandes cuerpos entre sí y de sus partes hacia los cuerpos, al intentar cada uno de tales cuerpos alejarse de las partes más densas del medio...". (Newton, I., (1977), p. 304).

¹⁹¹ Newton, I., (1977), p. 306.

En la versión inglesa de la *Óptica* dice "... 700,000 times more rare..." (Newton, I., (1980), p. 521. El subrayado es mío).

El término rare fue traducido por Solís como raro. Aunque resulta más adecuada la versión de Díaz del Castillo que lo traduce como "rarefacto" (cfr. Newton, I., (1947), p. 328), el término correcto debería ser enrarecido o rarificado, ya que a lo que se refiere Newton es a la bajísima densidad del Éter y no a su extrañeza.

matemáticos, sobre los cuales resulta posible fundamentar nuestros razonamientos en asuntos filosóficos"¹⁹². En consecuencia con lo anterior, y una vez sentadas las bases matemáticas, Newton plantea cuatro Reglas para Filosofar (*Regulae Philosophandi*)¹⁹³, en las que explicita los elementos centrales de su planteamiento metodológico, con la intención de, por un lado, justificar sus generalizaciones y por otro desacreditar las conclusiones de los adversarios.

La Regla I parece, en primera instancia, un planteamiento obvio relativo a la simplicidad de la Naturaleza, ya que señala que:

"No debemos para las cosas naturales admitir más causas que las verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos"¹⁹⁴.

Esta regla está unida a un breve comentario de Newton en el que señala:

"Dicen sobre ello los filósofos: la Naturaleza no hace nada en vano, y es vano mucho cuando basta con poco. Pues la Naturaleza es simple y no se complace con causas superfluas para las cosas"¹⁹⁵.

En esta regla, Newton plantea la necesidad de no hacer proliferar las causas que nos expliquen un fenómeno, de allí que se refiera a las causas suficientes, y es en este sentido que se habla de ella como precepto de economía conceptual, pero lo importante radica en que esas causas suficientes deben ser, a decir de Newton, verdaderas.

Las causas verdaderas (*verae causae*) deben ser susceptibles de ser encontradas partiendo de los fenómenos y representan, como señala en la *Óptica*, "... leyes generales de la naturaleza por la que se forman las cosas mismas y cuya verdad se nos aparece por los fenómenos..."¹⁹⁶. Es decir, que estas causas verdaderas son principios o leyes que, como la gravitación universal, son susceptibles de ser encontradas ya que, efectivamente, operan en el mundo, aún cuando pueda suceder que sus causas no se hayan descubierto todavía, como sucede, a decir de Newton, con la gravedad y en las atracciones eléctrica y magnética.

Como evidente complemento a la Regla I, la Regla II plantea que:

"Por consiguiente, debemos asignar tanto como sea posible a los mismos efectos las mismas causas"¹⁹⁷.

¹⁹² Newton, I., (1982), p. 655.

¹⁹³ Estas cuatro reglas aparecen como tales en la tercera edición (1726), ya que en la primera aparecían únicamente las dos primeras pero bajo el rubro de Hipótesis 1 y 2; la segunda edición constaba de tres reglas, ya denominadas de esta manera, siendo la tercera la única novedad y fue en la tercera edición en la que apareció la Regla IV.

¹⁹⁴ Newton, I., (1982), p. 657.

Esta regla es prácticamente equivalente al principio de economía conceptual que data del siglo XIV, normalmente denominado navaja de Ockham.

¹⁹⁵ *ibíd.*, p. 657.

¹⁹⁶ Newton, I., (1977), p. 346. El subrayado es mío.

¹⁹⁷ Newton, I., (1982), p. 657.

Para ejemplificar este planteamiento, Newton señala "... la respiración en un hombre y un animal; la caída de piedras en Europa y en América; la luz del fuego de la cocina y la del Sol; la reflexión de la luz en la Tierra y en los planetas"¹⁹⁸.

A fin de cuentas, dicha regla lo que plantea es la uniformidad de la Naturaleza, la unicidad de las causas y la inalterabilidad de la relación causa-efecto, que es un prerrequisito indispensable para la construcción de una ciencia física (o de otro tipo) que tenga la pretensión de universalidad. Sin ella, la formulación de leyes carecería por completo de sustento.

En la Regla II llama la atención el hecho de que la relación causa-efecto sea acotada por el propio Newton al plantear que la misma se debe "... asignar tanto como sea posible...". Los cuestionamientos en torno a esta ambigua restricción a la inalterable relación causal, se ven reforzados por el hecho de que en la versión original de dicha regla, aparecida como Hipótesis II en la primera edición de los *Principia* y como Regla II en la segunda edición, el enunciado newtoniano decía:

"Por consiguiente, para efectos naturales del mismo tipo, las causas son las mismas"¹⁹⁹.

Las razones de este agregado, de carácter limitante, pueden estar relacionadas, entre otras, con consideraciones de orden teológico, ya que dado el papel activo que Newton le asigna a Dios, podría suceder que la relación causa-efecto se modificara, pues como señala en la *Óptica* "... no es filosófico... pretender... que, una vez formado [el Mundo], podría continuar durante muchas eras gracias a esas leyes"²⁰⁰. Esta participación activa del Creador llega, a decir de Newton, al nivel de que "... el ciego destino nunca podría haber hecho que todos los planetas se moviesen en una y la misma dirección, siguiendo órbitas concéntricas, exceptuando algunas irregularidades inconsiderables que podrían

¹⁹⁸ ibíd., p. 657.

¹⁹⁹ En Cohen, I.B., (1978), p. 262.

Dado que en este caso la traducción es mía y la comparación se hace con la de Antonio Escotado, me parece importante señalar las dos versiones literales en la versión inglesa de Cohen, las cuales dicen:

Primera y segunda edición de los *Principia*: "Therefore for natural effects of the same kind the causes are the same". (En Cohen, I.B., (1978), p. 262).

Tercera edición de los *Principia*: "Therefore for natural effects of the same kind the same causes are to be assigned, as far as possible". (En Cohen, I.B., (1978), p. 262).

Para que no quede duda de que dicho acotamiento fue un estricto agregado en la tercera edición, basta observar los planteamientos en las versiones latinas originales, en las que dice:

Primera y segunda edición: "Ideoque Effectuum naturalium ejusdem generis eadem sunt Causae". (En Cohen, I.B., (1978), p. 262).

Tercera edición: "Ideoque Effectuum naturalium ejusdem generis eadem assignandae sunt Causae quatenus fieri potest". (En Cohen, I.B., (1978), p. 262).

²⁰⁰ Newton, I., (1977), p. 347. El paréntesis es mío.

deberse a las acciones mutuas de los planetas y cometas entre sí y que pueden aumentar hasta el punto de que el sistema necesite una reforma"²⁰¹.

Podría decirse que bajo esta perspectiva teológica²⁰², cualquier aseveración, como la de plantear leyes, está sujeta a los designios del Creador y que el carácter de universalidad del discurso está en entredicho. Curiosamente, Newton estaría de acuerdo, de alguna manera, con un planteamiento de este estilo, ya que, en sus propias palabras, el Dios actuante, "... 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"²⁰³.

Como ejemplo de la utilización de las dos primeras reglas, basta ver la Proposición IV. Teorema IV del Libro III en la que Newton plantea el hecho de que "... la Luna gravita hacia la Tierra y es continuamente apartada de un movimiento rectilíneo y retenida en su órbita por la fuerza de la gravedad"²⁰⁴. En su demostración, se señala que:

"En consecuencia, la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es, en la misma superficie de la Tierra, igual a la fuerza de gravedad que observamos aquí en los cuerpos pesados. En consecuencia (por las Reglas I y II), la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es precisamente la misma fuerza que comúnmente llamamos gravedad, pues si la gravedad fuera una fuerza distinta, los cuerpos que descendieran hacia la Tierra con el impulso combinado de ambas fuerzas caerían con doble velocidad..."²⁰⁵, donde podemos observar que efectivamente la demostración se basa en la existencia de la gravedad, entendida como causa verdadera y suficiente (Regla I) y en asignar tanto a la Luna como a los cuerpos pesados en la superficie de la Tierra, la misma causa explicativa para su comportamiento (Regla II). Reforzando esto, en el Escolio a esta proposición, en el que Newton plantea una situación hipotética en la que giraran varias Lunas en torno a la Tierra (como sucede con Júpiter), se señala que "... puesto que ambas fuerzas, es decir la gravedad de los cuerpos pesados y las fuerzas centrípetas de las lunas, se dirigen hacia el centro de la Tierra y son

²⁰¹ ibíd., p. 347. El subrayado es mío.

A decir de Leibniz, "El Señor Newton cree que la fuerza del Universo disminuye como la de un reloj, por lo que a de ser restablecida mediante una acción especial de Dios. Por el contrario, yo mantengo que Dios hizo las cosas desde el comienzo de tal manera que su fuerza no se perdiese. Por tanto su dinámica es muy distinta a la mía y, en mi opinión no se adecúa a la perfección de las operaciones divinas". (En Solís, C., (1977), p. 449).

²⁰² La concepción teológica de Newton será ampliamente analizada en la parte relativa a la axiología newtoniana.

²⁰³ Newton, I., (1977), p. 348.

Espero que los ufólogos nunca conozcan esta aseveración, pues podrían convertir a Newton en su ideólogo de cabecera.

²⁰⁴ Newton, I., (1982), p. 669.

²⁰⁵ ibíd., p. 670. El subrayado es mío.

semejantes e iguales entre sí, ambas tendrán (por las Reglas I y II) una y la misma causa"²⁰⁶.

Adicionalmente a los planteamientos en torno a las causas, tratadas en las Reglas I y II, en la Regla III²⁰⁷ Newton pasa al análisis de las cualidades al decir, en el texto de dicha regla, que:

"Las cualidades de los cuerpos que no admiten intensificación ni reducción, y que resultan pertenecer a todos los cuerpos dentro del campo de nuestros experimentos, deben considerarse cualidades universales de cualesquiera tipos de cuerpos"²⁰⁸.

Lo primero que llama la atención en el texto de esta regla es que en tres ocasiones hace referencia a los cuerpos, que aunque parezca, en primera instancia, un término cuyo significado es evidente, puede prestarse a ambigüedades, sobre todo si recordamos que la pretensión de Newton es la de plantear reglas generales, válidas para toda la Filosofía Natural²⁰⁹. Tan no es obvio el concepto de cuerpo que el propio Newton había formulado un conjunto de cambios bajo el rubro de *Corrigenda et addenda* en la que se encuentran dos definiciones que debían preceder a las Reglas para Filosofar, siendo la primera de ellas una definición de cuerpo²¹⁰, en la que señala:

²⁰⁶ ibíd., p. 671. El subrayado es mío.

²⁰⁷ La primera versión de la Regla III se encuentra en una copia, corregida de la primera edición, que Newton le envió a Locke al principio de la década de los noventa y que se encuentra en la Biblioteca del Trinity College. En ella, todavía utiliza el término hipótesis, siendo ésta la Hipótesis III y aunque el sentido es el mismo de la Regla III (tal como apareció en la segunda edición) la redacción no es exactamente la misma. (cfr. Cohen, I.B., (1978), pp. 23-26). Esta nueva hipótesis estaba destinada a sustituir a la Hipótesis III de la primera edición, la cual fue suprimida, siendo ésta la única hipótesis original que desapareció por completo en las ediciones posteriores. La Hipótesis III original planteaba que "Todo cuerpo puede transformarse en un cuerpo de otro género cualquiera y adoptar todos los grados intermedios de cualidades" (En Newton, I., (1987), p. 616), en donde, curiosamente, Newton hace referencia, al igual que en la Regla III, tanto a los cuerpos como a las cualidades, aunque en un sentido totalmente diferente. En otra versión de la nueva Hipótesis III que Newton planeaba para la segunda edición, que se encuentra en una copia de Newton con sus propias anotaciones, el planteamiento era que "Las leyes y propiedades de todos los cuerpos en los que pueden hacerse experimentos, son las leyes y las propiedades universales de los cuerpos" (En Cohen, I.B., (1978), p. 25), que va en el sentido de la Regla III, pero que era más fuerte pues hacía referencia específica a las leyes y propiedades, en lugar de las cualidades.

²⁰⁸ Newton, I., (1982), pp. 657-658.

²⁰⁹ Basta preguntarse si, por ejemplo, en el ámbito óptico, la luz debe considerarse como un cuerpo (o un conjunto de cuerpos). Desde luego, para Newton la respuesta a esta pregunta sería un inequívoco sí, ya que desde su conceptualización, la luz está formada por corpúsculos que evidentemente son cuerpos. Incluso, para Newton la "... transformación de los cuerpos en luz y de la luz en cuerpos se compadece muy bien con el curso de la naturaleza, que parece deleitarse con las transmutaciones". (Newton, I., (1977), p. 324). Las evidentes connotaciones del discurso de la Alquimia en el pensamiento newtoniano, será discutido en la parte correspondiente a la axiología newtoniana.

²¹⁰ cfr. Cohen, I.B., (1978), pp. 258-264.

La segunda definición se refería al concepto de vacío.

"Llamo cuerpo a todo aquello que puede ser movido y tocado y que se resiste a las cosas que lo tocan..."²¹¹.

El comentario (o elaboración) de la Regla III consta de dos largos párrafos (sobre todo el primero) que por su importancia transcribo totalmente:

"Pues como las cualidades de los cuerpos sólo nos son conocidas por experimentos, debemos considerar universal todo cuanto concuerda universalmente con ellos, y aquéllas que no son susceptibles de disminución no pueden ser suprimidas. Ciertamente, no debemos abandonar la evidencia de los experimentos por sueños y ficciones vanas, ni tampoco alejarnos de la analogía de la naturaleza, que es acostumbradamente simple y siempre consonante consigo misma. Sólo conocemos la extensión de los cuerpos por nuestros sentidos, y no en todos ellos. Pero como percibimos extensión en todos los captados por los sentidos atribuimos esa cualidad universalmente a todos los otros también. Por experiencia sabemos que muchos cuerpos son duros; y como la dureza del todo surge de la dureza de las partes, con justicia inferimos la dureza de las partículas indivisas no sólo de los cuerpos que palpamos, sino de todos los otros. No de la razón sino de la sensación colegimos la impenetrabilidad de todos los cuerpos. Los cuerpos con los que tratamos resultan ser impenetrables, y de ello deducimos que la impenetrabilidad es una propiedad universal de todo tipo de cuerpos. Sólo por propiedades semejantes observadas en los cuerpos inferimos que todos los cuerpos son móviles y dotados de ciertas fuerzas (que llamamos de inercia) para perseverar en su movimiento o en su reposo. La extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia del todo resultan de la extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia de las partes; y de ello deducimos que las partículas mínimas de los cuerpos son también extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de inercia. Y éste es el fundamento de toda filosofía. Por otra parte, que las partículas divididas pero contiguas de los cuerpos puedan separarse unas de otras es asunto de observación, y en las partículas que permanecen indivisas nuestras mentes son capaces de distinguir partes aún menores, como se demuestra matemáticamente. Pero no podemos determinar con certeza si las partes así distinguidas y no divididas aún pueden ser efectivamente divididas y separadas unas de otras por las fuerzas naturales. Con todo, si tuviésemos la prueba de un solo experimento siquiera en el sentido de que cualquier partícula indivisa sufría una división al romper un cuerpo duro y sólido, podríamos en virtud de esa regla concluir que tanto las partículas indivisas como las divididas pueden dividirse y separarse efectivamente hasta lo infinito.

Por último, si consta universalmente por experimentos y observaciones astronómicas que todos los cuerpos situados en torno a la Tierra gravitan hacia ella, y esto en proporción a la cantidad de materia por ellos contenida; que del mismo modo la Luna, con arreglo a su cantidad de materia, gravita hacia la Tierra y que, por otra parte, nuestro mar gravita hacia la Luna, como todos los planetas

²¹¹ En Cohen, I.B., (1978), p. 261.

los unos respecto de los otros, y que los cometas gravitan hacia el Sol, debemos como consecuencia de esta regla admitir universalmente que todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación mutua. Pues el argumento a partir de los fenómenos demuestra con mucha mayor fuerza la gravitación universal que la impenetrabilidad de los cuerpos, sobre la cual carecemos de experimentos y medios de observación para los cuerpos situados en las regiones celestes. Para nada afirmo que la gravedad sea esencial a los cuerpos. Por la fuerza *insita* sólo entiendo su fuerza inercial, que es inmutable. Su gravedad disminuye a medida que se alejan de la Tierra"²¹².

Esta regla plantea, en primera instancia, que todo razonamiento científico tiene su base en la experiencia, de forma tal que, a partir de ella, se pueden proponer generalizaciones, válidas incluso para los casos en los que no sea posible hacer experimentos. La regla nos propone un doble movimiento, por un lado, que para nuestra aproximación cognoscitiva tenemos que partir de la experiencia y proceder haciendo generalizaciones con base en los comportamientos que se repiten en la experiencia y, por otro lado, considerar legítimas dichas generalizaciones incluso en los casos que no podamos validarlas directamente en la experiencia.

En la *Conclusio*²¹³, que Newton había preparado para la primera edición de los *Principia* y que finalmente fue suprimida, se plantea una peculiar versión de la Regla III, en la que señala 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"²¹⁴. Digo que es una versión de la Regla III en el sentido de que plantea, ampliando lo dicho en la Regla II, el principio de uniformidad, ya que aquí no son únicamente las causas (Regla II), sino las cualidades (Regla III) y los razonamientos (*Conclusio*), de forma tal que puede concluirse que dicha uniformidad se cumple para toda la Naturaleza. De hecho, para llegar a este planteamiento, entendido como una generalización para la Naturaleza, se está haciendo uso de la Regla III, que es la que avala las generalizaciones partiendo de la experiencia, aunque curiosamente, es la propia experiencia con la Naturaleza la que nos muestra el camino, pues ella (la Naturaleza) "... es acostumbradamente simple y siempre consonante consigo misma"²¹⁵.

En el primer párrafo del comentario (o elaboración) de la regla, Newton, apelando a la experiencia sensible, propone cinco ilustraciones de la misma, que consisten en considerar como propiedades universales a la extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia, de forma tal que Newton infiere que la universalidad de estas cualidades proviene de la "... extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia de las partes, y de ello deducimos que las

²¹² Newton, I., (1982), pp. 658-659.

²¹³ Newton, I., (1978b).

²¹⁴ ibíd., p. 333.

²¹⁵ Newton, I., (1982), p. 658.

partículas mínimas de los cuerpos son también extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de inercia"²¹⁶. Esta inferencia es posible, a decir de McGuire²¹⁷, por la "... analogía de la naturaleza..."²¹⁸ a la que hace referencia Newton, pues es con base en ella que se puede construir la conexión entre las características asociadas a cuerpos observables con los inobservables, lo cual jugará un papel metodológico fundamental en la construcción del argumento relativo a la Gravitación Universal.

Después de la discusión en torno a estas cualidades, entre dos puntos y seguido, Newton hace una sorprendente aseveración:

"Y éste es el fundamento de toda filosofía"²¹⁹.

Lo sorprendente de esta aseveración tan brutal es que no queda claro ¿qué parte de todo lo dicho es nada menos que el fundamento de toda filosofía? ¿Se refiere a la importancia de la experiencia? ¿Se refiere a la trascendencia de hacer inferencias generales? ¿Se refiere a toda la regla? Desafortunadamente, Newton no da ninguna pista, pudiéndose incluso pensar en la posibilidad, como sugiere Finochiaro²²⁰, que este fundamento hace referencia a la inercia, por ser el último punto que aborda Newton antes de esta aseveración y dado que, al menos, parecería corresponder a la idea newtoniana de basar su Filosofía Natural en el concepto de inercia (Definición III y Ley I en los *Principia*). En realidad, es prácticamente imposible asegurar inequívocamente a qué se refiere Newton y cualquier posición al respecto no puede evitar tener un carácter puramente especulativo. En lo personal, creo que se debe interpretar este *dictum* en el sentido de que el fundamento de toda filosofía radica en el hecho de basarse en la experiencia y la validez de hacer generalizaciones a partir de ella, que sería el enunciado de la Regla III, quitándole la parte relativa a que las cualidades, para ser universales, no admiten intensificación ni reducción, que es algo a lo que haré referencia más adelante. Esta interpretación es la más congruente con el panorama metodológico que he planteado hasta el momento, pero reconozco que casi cualquier otra interpretación sería igualmente válida.

Después de esta enigmática afirmación, Newton pasa a la discusión acerca de la divisibilidad, planteando que la misma es una cualidad que observamos en la experiencia sensible y que se podría pretender inferir la divisibilidad infinita de la materia ya que "... en las partículas que permanecen

²¹⁶ ibíd., p. 658. El subrayado es mío.

En este fragmento, Newton refrenda su concepción corpuscular, asignándole a los corpúsculos tales cualidades.

En realidad, como señala Finochiaro (Finochiaro, M.A., (1973)), la ilustración de la regla no es demasiado afortunada ya que no queda claro si a través de la misma se encuentra que dichas cualidades son universales o es la regla la que las convierte en universales.

²¹⁷ cfr. McGuire, J.E., (1970).

²¹⁸ Newton, I., (1982), p. 658.

²¹⁹ ibíd., p. 658.

²²⁰ cfr. Finochiaro, M. A., (1973).

indivisas nuestras mentes son capaces de distinguir partes aún menores, como se demuestra matemáticamente"²²¹. La posible inferencia no le agrada a Newton, dada su concepción corpuscular de la materia ya que, como él mismo señala (en la *Óptica*):

"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 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 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"²²².

Como se observa en la cita anterior, para Newton la existencia de corpúsculos forma parte del plan de Dios y es necesario adelantarse a posibles planteamientos de divisibilidad infinita que, incluso, puedan pretender sustentarse en su Regla III. En este sentido, señala que "... si tuviésemos la prueba de un solo experimento siquiera en el sentido de que cualquier partícula indivisa sufría una división al romper un cuerpo duro y sólido, podríamos en virtud de esa regla concluir que tanto, partículas indivisas como las divididas pueden dividirse y separarse efectivamente hasta lo infinito"²²³. Evidentemente, esta postura que alguien, en forma ingenua, podría catalogar de honestidad intelectual, no lo es tanto pues Newton es el primero en saber que la experiencia que pide para aceptar la divisibilidad infinita (con la consecuente inexistencia de corpúsculos), es una experiencia imposible y la aparente apertura a aceptar resultados contrarios a sus creencias es, por el contrario, una estrategia perfectamente calculada para validar sus posturas.

Después del largo y denso primer párrafo del comentario (o elaboración) de la Regla III, en el segundo (y último), se ataca el que tal vez sea el problema más importante y que por sí mismo explicaría la necesidad de formulación de esta regla, que es el relativo a la justificación de la gravedad. De acuerdo con Newton, la gravitación no debe ser aceptada por su poder explicativo sino porque, efectivamente, es un hecho que se obtiene a partir de los fenómenos que "... todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación mutua..."²²⁴.

²²¹ Newton, I., (1982), p. 658. El subrayado es mío.

²²² Newton, I., (1977), p. 345.

²²³ Newton, I., (1982), pp. 658-659. El subrayado es mío.

²²⁴ ibíd., p. 659.

Llama la atención que esta caracterización de la gravedad como cualidad universal, la hace Newton al principio del Libro III, es decir antes de haberla planteado y de haber mostrado no digamos su existencia sino siquiera el poder explicativo de la teoría.

Conforme Newton va construyendo, a lo largo del Libro III, su Principio de Gravitación Universal, llega a un punto, en la Proposición VII. Teorema VII en el que, usando la Regla III,

Una vez justificado el carácter universal de la gravedad, Newton hace uso de una de las características que introdujo en la formulación de la regla que es el relativo a ponderar el que las cualidades no admitan intensificación ni reducción, de forma tal que dado que la gravedad varía con la distancia, no obstante su carácter universal, no debe considerarse como una cualidad esencial (como la inercia). En palabras de Newton:

"Para nada afirmo que la gravedad sea esencial a los cuerpos. Por la fuerza *insita* sólo entiendo su fuerza inercial, que es inmutable. Su gravedad disminuye a medida que se alejan de la Tierra"²²⁵.

Aquí, una vez más, sorprende la laconicidad de Newton al hacer una afirmación sobre una característica, la esencialidad, a la que no ha hecho referencia con anterioridad. Newton pretende aclarar en qué sentido la gravedad es universal pero no esencial, utilizando el criterio de inmutabilidad (referido al decrecimiento), siendo que dicho criterio está asociado, en la formulación de la regla, a la universalidad y no a la esencialidad a la que, insisto, no ha hecho referencia con anterioridad.

La negativa de Newton de asignarle la característica de esencialidad a la gravedad, tiene su origen en las críticas recibidas cuando apareció la primera edición de los *Principia* e incluso las bien intencionadas, pero erróneas, interpretaciones de personas como Bentley, al que en una carta²²⁶, le plantea que:

"Habla usted, algunas veces, de la gravedad como esencial e inherente a la materia... le ruego que no me adscriba a mí esta noción, ya que no pretendo saber cuál será la causa de la gravedad y, por tanto, llevaría más tiempo considerarla"²²⁷.

aunque no lo dice explícitamente, generaliza su idea de gravitación hasta el punto de hablar de gravitación de todos los cuerpos con todos los cuerpos, de las partes de ellos con todos los restantes y de todas las partes con todas las demás partes cumpliendo, adicionalmente, con la acción-reacción de la Tercera Ley. Esta visión es la esencia de la Teoría de la Gravitación y es la que marca la diferencia con los que, como Hooke, habían planteado antes que el propio Newton, la descomposición de una trayectoria en dos componentes, una inercial y otra centrípeta y habían, incluso, planteado que ésta última fuera inversamente proporcional a la distancia al cuadrado entre los cuerpos considerados. Esto será analizado con mayor amplitud en la parte correspondiente al nivel teórico.

²²⁵ ibíd., p. 659. El subrayado es mío.

²²⁶ En 1692, Newton empezó su correspondencia con George Bentley, capellán del obispo de Worcester. En este año, Bentley había escrito a Newton para pedirle le aclarara algunos puntos de los *Principia*, pues pensaba utilizar esta obra en la primera serie de Conferencias Boyle (*Boyle Lectures*), en defensa de la religión establecida. En total le escribió cuatro cartas a Bentley, en las que combina argumentos de Filosofía Natural con algunas de sus concepciones teológicas. Digo algunas, pues en dichas cartas no se encuentra ninguna discusión acerca de la Trinidad, que era un aspecto fundamental en la concepción teológica de Newton. Esto será discutido ampliamente en la parte relativa a la axiología newtoniana. (cfr. Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), pp. 330-339).

²²⁷ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 335.

Esta carta está fechada el 17 de Enero de 1693 y es la segunda (de cuatro) escrita por Newton a Bentley.

En otro momento, Newton le escribió a Bentley que:

"Es inconcebible que la materia bruta inanimada pueda (sin mediación de algo más que no es material) operar sobre y afectar otra materia sin un contacto mutuo... Y ésta es una razón por la cual deseo que usted no me adscriba la gravedad innata a mí... La gravedad debe ser causada por un agente que actúa constantemente de acuerdo con ciertas leyes, pero que este agente sea material o inmaterial es una cuestión que dejo a la consideración de mis lectores"²²⁸.

De lo anterior se desprende, por un lado, la necesidad de Newton de establecer la universalidad pero no esencialidad de la gravitación y, por otro, lo lacónico e incluso lo poco satisfactorio (en sentido discursivo) del planteamiento, pues Newton sabía que sus detractores esperaban ansiosos el menor desliz, para tener la oportunidad de atacarlo en cuestiones de carácter eminentemente especulativo.

Algunos autores²²⁹ han planteado que en realidad en la Regla III lo que se tiene son dos reglas diferentes, una para cualidades esenciales y otra para cualidades presentes universalmente. La primera sería de carácter epistemológico y la segunda, metodológico. La primera pretende decir algo sobre la estructura conceptual de nuestro conocimiento del mundo, mientras que la segunda representaría únicamente el método a seguir en la investigación.

No obstante que esta interpretación aclara el sentido de la Regla III, quitándole muchas de sus ambigüedades, considero que carece de la evidencia histórica necesaria como para plantear que ésa era la idea de Newton. Creo que el camino correcto para desentrañar la concepción newtoniana (y cualquier otra) no consiste en erradicar, *a posteriori*, las aparentes incongruencias u omisiones en los planteamientos sino, por el contrario, aceptarlas como son o parecen ser, intentando elucidarlos con base en la evidencia histórica de que se dispone.

Las Reglas para Filosofar se completan con la Regla IV, que a la letra dice:

"En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzcan otros fenómenos capaces de hacer más precisas esas proposiciones o sujetas a excepciones"²³⁰.

Esta regla, que apareció hasta la tercera edición de los *Principia*, representa la explicitación formal del planteamiento newtoniano relativo a la inducción, partiendo de los fenómenos, sin permitir la descalificación por medio de hipótesis, lo cual ya fue discutido ampliamente.

²²⁸ ibíd., pp. 336-337.

Esta carta está fechada el 25 de Febrero de 1693.

²²⁹ cfr. Finochiaro, M. A., (1973).

²³⁰ Newton, I., (1982), p. 659.

Para que no quedara la menor duda, en el comentario (o elaboración) de la regla, Newton señala el propósito de la misma al plantear que:

"Hemos de seguir esta regla para que el argumento por inducción no pueda ser eludido por hipótesis"²³¹.

Lo que llama la atención de dicha regla es el hecho de que no haya aparecido desde la segunda edición pues, evidentemente, su contenido está implícito en el Escolio General que apareció en esta edición. De hecho, en una carta a Cotes, Newton le señalaba que:

"La Filosofía experimental procede únicamente desde los Fenómenos y deduce Proposiciones generales únicamente desde ellos, únicamente por Inducción... Y aquel que en Filosofía experimental dudara de esto, debería elevar sus objeciones a partir de algún experimento o fenómeno y no de meras Hipótesis, si la Inducción es de algún valor"²³².

Este párrafo, que prácticamente es el enunciado de la Regla IV, forma parte de la carta a Cotes de marzo de 1713, en la que Newton le señalaba, al editor de la segunda edición de los *Principia*, un conjunto de cambios al Escolio General.

De lo anterior se desprende que si Newton no introdujo, desde la segunda edición, la Regla IV, fue porque no lo consideró necesario y que su aparición en la tercera edición se relaciona con los debates en torno a la obra, en los trece años que median entre ambas ediciones.

Entre los papeles de Newton, reunidos en la *Portsmouth Collection*, se encuentra el enunciado de una Regla V, que nunca fue impresa y que incluso no aparece en las versiones intermedias entre la segunda y tercera edición, lo cual indica que Newton nunca tuvo la suficiente certeza con respecto a ella. En ésta, Newton plantea que:

"Todas las cosas no derivadas de los objetos mismos ya sea por los sentidos externos o por la sensación de pensamientos internos, deben ser tomadas como hipótesis. Así, yo siento que estoy pensando, lo cual sólo podría pasar si al mismo tiempo tuviera la sensación de que yo soy. Pero no siento que alguna idea sea innata.

Y no tomo por fenómenos sólo cosas que nos son conocidas a través de los cinco sentidos externos, sino también aquellas que contemplamos en nuestras mentes cuando pensamos: tales como, soy, creo, entiendo, recuerdo, pienso, no estoy dispuesto, estoy sediento, estoy hambriento, estoy feliz, estoy triste, etc. Y aquéllas cosas que no se siguen de los fenómenos ni por demostración ni por argumentos de inducción, las mantenga como hipótesis"²³³.

²³¹ ibíd., p. 659.

²³² En Cohen, I.B., (1978), p. 245.

²³³ En Cohen, I.B., (1978), p. 30.

Como es evidente, el carácter de esta regla es diferente al de las anteriores y, a decir de Koyré, "... nos ofrece una confesión de fe puramente filosófica..."²³⁴, en la que pareciera que su propósito es el de atacar a Descartes en el terreno estrictamente filosófico. Tal vez ésta sea la razón por la que nunca apareció publicada, pues probablemente se dio cuenta de que en ese terreno sus posibilidades de triunfo eran muy reducidas y que, además, la polémica que desataría, lejos de ayudar a sus propósitos, podría ensombrecer el debate, al desviarlo del terreno en el que Newton sí tenía, como se dice popularmente, todas las cartas en la mano.

²³⁴ Koyré, A., (1965), p. 272.

La fe filosófica a la que hace referencia Koyré está emparentada con las concepciones de Locke, que dedica el Libro I de *An Essay Concerning Human Understanding* a atacar la existencia de ideas innatas. La negación del innatismo se basa en el planteamiento de que es en la experiencia donde se encuentra "... el fundamento de todo nuestro saber, y de allí es de donde en última instancia se deriva". (Locke, J., (1999), p. 83). Esta experiencia se divide en dos tipos, la sensación, que es la relación de las facultades sensoriales con el mundo externo, y la reflexión, que es el conjunto de operaciones de la mente. A decir de Locke, los "... objetos externos proveen a la mente de ideas de cualidades sensibles... y la mente provee al entendimiento con ideas de sus propias operaciones". (Locke, J., (1999), p. 85).

CAPÍTULO III

La Axiología Newtoniana

Introducción

Las metas de la obra de Newton son, al menos, de tres tipos y no obstante los fuertes vínculos entre ellas, deben de ser analizadas de manera independiente, si se quiere profundizar en la compleja estructura que representa la TI newtoniana.

La primera es la más evidente y sus logros son de tal magnitud que prácticamente la fama de Newton radica en su consecución. Me refiero a la pretensión de resolver los problemas (acuciantes en su momento) que se planteaban en el siglo XVII dentro del ámbito científico. El extraordinario avance que representó el planteamiento newtoniano en los *Principia*²³⁵, es de tal magnitud que no son pocos, tanto en el ámbito científico como fuera de él, los que consideran a esta obra como la máxima creación científica de todos los tiempos²³⁶.

La segunda meta es menos evidente que la anterior y, no obstante su relevancia, a veces es olvidada u obviada cuando se habla de Newton. Esta meta radica en la pretensión newtoniana de crear un patrón para la investigación científica, dado que en el siglo XVII existían diversas pautas de cómo debía trabajarse en Filosofía Natural. El intento, en gran medida exitoso, de plantear criterios tanto para investigar como para evaluar y justificar resultados, llevó a la explicitación de criterios que, mal que bien, siguen siendo, en general, válidos en nuestros días.

La tercera es mucho menos conocida, habiendo sufrido, incluso, una especie de intento de ocultamiento por parte de las generaciones de científicos posteriores a Newton. Me refiero al objetivo de generar un discurso explicativo totalizador, en el que se incluye no sólo a la Filosofía Natural, sino a discursividades que hoy en día nos parecen ajenas al espíritu científico, como son las correspondientes a la Alquimia y a la Teología. Esta meta es la única en la que Newton fracasó, pudiéndose incluso pensar que el propio Newton es

²³⁵ Aunque la *Óptica* también es relevante en tanto que discurso que resuelve problemas, comparativamente con los *Principia*, su importancia es mucho menor. En un sentido diferente, la creación del Cálculo Diferencial e Integral (Teoría de Fluxiones y Fluxiones Inversas), es una importante fuente en lo que a la resolución de problemas se refiere.

²³⁶ Refiriéndose a Newton, Einstein señala que "... el pensamiento de los físicos de hoy está condicionado, en alto grado, por las concepciones fundamentales de Newton. Hasta ahora no ha sido posible sustituir la concepción newtoniana unificada del Universo con una concepción comprehensiva parecidamente unificada. Pero lo que hemos avanzado hasta hoy en día hubiese sido imposible sin el claro sistema de Newton". (Einstein, A., (1950), p. 222).

responsable del distanciamiento que hoy existe entre conocimiento científico y conocimiento extracientífico.

Dada la importancia que tuvo para Newton esta última meta, a continuación pasaré a analizarla en primer término.

III.1 La Alquimia y la Teología Newtonianas

La imagen tradicional de Newton, entendido como un científico prácticamente idéntico a los científicos actuales, empezó a derrumbarse a raíz de que John Maynard Keynes adquirió varios escritos de Newton y al revisarlos encontró algo que no se esperaba. En su artículo "Newton the Man", Keynes plantea que:

"Newton no fue el primero de la Edad de la Razón. Fue el último de los magos, el último de los babilonios y los sumerios, la última de las grandes mentes que contempló al mundo visible e intelectual con los mismos ojos que aquellos que empezaron a construir nuestra heredad intelectual, hace casi diez mil años...

¿Por qué lo llamo mago? Porque contemplaba al universo y todo lo que en él se contiene como un enigma, como un secreto que podía leerse aplicando el pensamiento puro a cierta evidencia, a ciertos indicios místicos que Dios había diseminado por el mundo para permitir una especie de búsqueda del tesoro filosófico... Creía que una parte de dichos indicios debía encontrarse en la evidencia de los cielos y en la constitución de los elementos... y la otra, en ciertos escritos y tradiciones transmitidos por los miembros de una hermandad, en una cadena ininterrumpida desde la original revelación críptica, en Babilonia. Consideraba al universo como un criptograma trazado por el Todopoderoso... Creía que el enigma sería revelado al iniciado por el pensamiento puro...

Realmente Newton leyó el enigma de los cielos y creyó que con los mismos poderes de su imaginación introspectiva leería el enigma de la Divinidad, el enigma de los acontecimientos del pasado y del futuro, ordenados divinamente, el enigma de los elementos y de su constitución a partir de una original e indiferenciada materia... como si tomara por asalto estas cosas medio permitidas, medio prohibidas, arrastrándose hasta el seno de la Divinidad como si fuera el vientre materno"²³⁷.

La, tal vez exagerada, caracterización que hace Keynes de Newton, es el producto de la sorpresa que le produjo el entrar en contacto con parte de la

²³⁷ Keynes, J.M., (1956), pp. 280-281.

La caja de escritos de Newton que compró Keynes, son los que hoy se conocen como *Keynes Manuscripts*, y se encuentran en la Biblioteca del King's College en Cambridge (Inglaterra).

vastísima obra alquímica y teológica de Newton²³⁸. Hoy en día, a más de cincuenta años del artículo de Keynes, se puede asegurar que las preocupaciones religiosas de Newton, se convirtieron en interés teológico desde los primeros años de la década de los sesentas (1663-1665), en la que empezó, en su cuaderno de notas²³⁹, la sistematización de conceptos teológicos, bajo el rubro de *Of God* y *Of y^e Creation*, siendo su pretensión, en dichos escritos, la de hacer compatible la existencia de leyes físicas universales con la idea de un Dios omnipotente, capaz de manifestarse activamente en el mundo²⁴⁰.

Esta idea será una constante a lo largo de toda su vida, como se puede observar en su correspondencia con Bentley en la que, al referirse (el 10 de Diciembre de 1692) a los *Principia*, señala:

"Cuando escribí mi tratado acerca de nuestro Sistema, tenía la vista puesta en aquellos Principios que pudieran funcionar para que los hombres creyeran en una Deidad, y nada pudo regocijarme más que encontrar esto útil para tal propósito"²⁴¹.

El texto de dicha carta y en realidad toda la correspondencia entre Newton y Bentley²⁴² son una clara prueba del propósito newtoniano de mostrar, a través de la Filosofía Natural, no sólo la compatibilidad sino la necesidad de la existencia de Dios.

Este hecho, en sí mismo, no conlleva la necesidad de trabajar en el ámbito de la Teología, a no ser, como sucede en el caso de Newton, que la idea en torno a esa Deidad no concuerde con las concepciones ortodoxas de las iglesias socialmente dominantes.

Desde el principio de la década de los setentas, Newton había orientado su interés hacia la relación entre Dios Padre y Cristo ya que, en una cita de la

²³⁸ Como ejemplo de la concepción que se tenía de Newton por la época de la aparición del artículo de Keynes (1946), baste señalar lo que dice James Jeans en su *Historia de la Física* (1948) al referirse a la afición de Newton por la Teología: "No sabemos qué es lo que entonces reclamaba su atención. Puede acaso que fuera la teología, a la cual tomó cada vez mayor afición a medida que pasaron los años". (Jeans, J., (1960), p. 221. El subrayado es mío). Con respecto a la Alquimia, Jeans señala que "... no tuvo éxito con la Alquimia... si es que realmente estuvo interesado en estas cuestiones...". (Jeans, J., (1960), p. 221. El subrayado es mío).

²³⁹ *Quaestiones quaedam Philosophicae*.

²⁴⁰ cfr. Westfall, R.S., (1996), p. 97.

²⁴¹ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 330.

²⁴² La correspondencia entre Bentley y Newton esta íntimamente relacionada con el hecho de que Richard Bentley fue el encargado de inaugurar las *Boyle Lectures* (cfr. Guerlac, H. and Jacob, M.C., (1969)), cuyo objetivo era probar la superioridad de la religión cristiana sobre los ateos, paganos, judíos y mahometanos, y el newtonismo proveía, según Bentley, de los elementos científicos útiles para este propósito. En la cuarta presentación, compuesta de tres lecciones, de la primera serie de *Lectures*, Bentley presentó su versión de la Filosofía Natural de Newton (cfr. Jacob, M.C., (1976), pp. 143-200), en la que aseguraba que la "Gravedad, actuando perpetuamente en la constitución del presente Sistema... es un nuevo e invencible argumento sobre la Existencia de Dios...". (En Brooke, J., (1989), p. 171).

*Epístola a los Hebreos*²⁴³, que se refiere a que Dios sentó a su derecha a Cristo y lo llamó Dios, Newton insertó una nota en la que apunta:

"Por lo tanto, el Padre es Dios del Hijo [cuando el Hijo] es considerado como Dios"²⁴⁴.

Este comentario pone en evidencia la diferencia existente entre Dios y Cristo, en tanto que *status* teológico. Efectivamente, la conceptualización teológica newtoniana se ubica en lo que usualmente se denomina unitarismo arrianista, que se contrapone a la concepción trinitarista que forma parte tanto de la ortodoxia católica como de la protestante, incluido el anglicanismo que era la religión que oficialmente profesaba Newton²⁴⁵.

La Deidad newtoniana tiene su referente en el Dios actuante del *Antiguo Testamento*, el cual, a decir de Newton en los *Principia* "... gobierna todas las cosas, no como alma del mundo, sino como Señor de todo; y debido a esa dominación suele llamársele Señor Dios, παντοκρατωρ, o Amo Universal"²⁴⁶.

Para Newton, el pecado del trinitarismo era el de idolatría que, en sus propias palabras "... es una violación del primero y más grande mandamiento. Es concederle a los ídolos el amor, honor, adoración que solamente corresponde a Dios. Es olvidar al verdadero Dios para cometer adulterio con otros amantes... del mismo modo que una adúltera olvida a su esposo"²⁴⁷.

²⁴³ En la *Epístola a los Hebreos*, bajo el título de 'El Hijo de Dios, postrer Apóstol del Padre', se dice: "Muchas veces y en muchas maneras habló Dios en otro tiempo a nuestros padres por ministerio de los profetas; últimamente, en estos días, nos habló por su Hijo, a quien constituyó heredero de todo, por quien también hizo el mundo; y que siendo el esplendor de su gloria y la imagen de su substancia y el que con su poderosa palabra sustenta todas las cosas, después de hacer la purificación de los pecados, se sentó a la diestra de la Majestad en las alturas...". (Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), p. 1230. El subrayado es mío).

²⁴⁴ En Westfall, R.S., (1996), p. 311.

²⁴⁵ El *status* teológico de Cristo fue una preocupación que llevó a Newton a estudiar los orígenes de la Iglesia católica, encontrando que el principal responsable de la, para él, herética doctrina trinitarista fue Atanasio, que se enfrentó, junto con sus seguidores, a Arrio, que defendía la posición unitarista. Este enfrentamiento tuvo su momento culminante en el Concilio de Nicea (año 325) que fue de donde emanó la ortodoxia cristiana. La concepción unitarista arriana (arrianismo) fue considerada, a raíz de dicho Concilio, como herética. (cfr. Williams, R., (1987)).

Newton llegó a la conclusión de que en los siglos IV y V se había perpetrado un fraude que había llevado, incluso, a la corrupción de las Escrituras, de forma tal que éstas fueran congruentes con la doctrina trinitaria.

Newton se convirtió, secretamente, en un hereje arrianista, en un hereje antitrinitarista, aunque de manera dolorosamente paradójica (para él), toda su vida académica la desarrolló en el Trinity College, el Colegio de La Trinidad, en la Universidad de Cambridge.

²⁴⁶ Newton, I., (1973), p. 544.

La caracterización de Dios como παντοκρατωρ es una clara referencia al *Apocalipsis* de Juan, en el que este término es usado nueve veces, mucho más de lo que aparece en el resto del *Nuevo Testamento*. (cfr. Mandelbrote, S., (1993), p. 300).

²⁴⁷ En Christianson, G., (1986), p. 278.

El involucramiento personal de Newton en estas cuestiones, lo llevó a elaborar, a lo largo de su vida²⁴⁸, una extensísima obra teológica cuyo volumen, existente hasta nuestros días, alcanza aproximadamente 1,400,000 palabras²⁴⁹. Sus dos escritos más relevantes en este ámbito son *Observations Upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John* y *Cronology of Ancient Kingdoms Amended*²⁵⁰.

En las *Observations*, Newton se dedica a la interpretación de los libros de *Daniel*²⁵¹ y el *Apocalipsis*²⁵² de Juan, pues considera que ellos fueron particularmente inspirados por Dios y preservados, providencialmente, en su estado actual, aunque reconociendo que en el caso del *Apocalipsis*, dado que Juan escribió en un tiempo muy cercano a Cristo, los hebraísmos en su escritura sugieren una particular libertad para interpolaciones y corrupciones posteriores²⁵³. Para Newton la interpretación de los libros proféticos representa un reto impuesto por Dios ya que si "... ellos nunca van a ser entendidos, ¿con qué finalidad los reveló Dios?"²⁵⁴. Refiriéndose al libro de *Daniel* dice que: "... en las cosas que relata sobre los últimos tiempos, debe estar la llave para el resto"²⁵⁵. La interpretación de las cifras y los eventos que aparecen en estos libros, se basa en la identificación de reinos (en sentido político) históricos²⁵⁶. Para Newton, tanto Juan como Daniel, han predicho los mismos eventos históricos. Los sueños de Nabucodonosor y Daniel representan la sucesión de las monarquías de Babilonia, Persia, Grecia y Roma²⁵⁷, seguidas de las invasiones de bárbaros²⁵⁸. Los diez

²⁴⁸ El 25 de diciembre de 1725, día en el que Newton cumplió 83 años, fue visitado por su amigo Stukeley, el cual narró que Newton le mostró un borrador (en el que se encontraba trabajando), del Templo de Salomón, ya que Newton, a decir de Stukeley "... tenía la noción de que el Divino había depositado su misterioso plan de las cosas futuras en el templo judío...". (En Christianson, G., (1986), p. 604). Muy probablemente el borrador que vio Stukeley era de *Prolegomena ad Lexici Prophetici partem secundam in quibus agitur De forma Sanctuarii Judaici* (cfr. Newton, I., (1996)) en el que se encuentra, incluso un diagrama del templo de Salomón ya que éste representaba "... la última verdad del reino de Dios expresada en términos físicos". (Manuel, F., (1968), p. 375).

²⁴⁹ Ésta es una aproximación de lo que se conserva. El volumen debía ser mayor ya que sabemos que en 1677 un incendio accidental quemó una gran cantidad de escritos. Adicionalmente, Newton quemó gran cantidad de cajas de papeles, cuyo contenido se desconoce. (cfr. Christianson, G., (1986), pp. 222-223 y Westfall, R.S., (1996), p. 868).

²⁵⁰ Otros escritos teológicos son *Irenicum, A short scheme of the true religion, Theologiae gentilis origine philosophicae, An historical account of two notable corruptions of Scripture* y muchos más. *A short scheme of the true religion* y otros manuscritos pueden consultarse en <http://www.newtonproject.ic.ac.uk/>

²⁵¹ cfr. Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), pp. 914-933.

²⁵² cfr. Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), pp. 1261-1281.

²⁵³ cfr. Newton, I., (1991), pp. 238-239.

²⁵⁴ En Manuel, F., (1983), p. 23.

²⁵⁵ Newton, I., (1991), p. 15.

²⁵⁶ cfr. Newton, I., (1991), pp. 309-323.

²⁵⁷ En el libro de *Daniel*, éste le dice a Nabucodonosor: "Tú, ¡oh rey!, eres rey de reyes, porque el Dios de los cielos te ha dado el imperio, el poder, la fuerza y la gloria... Después de ti surgirá otro reino menor que el tuyo, y luego un tercero, que será de bronce y dominará sobre toda la tierra. Habrá un cuarto reino, fuerte como el hierro; como todo lo rompe y destroza el hierro, así el romperá todo, igual que el hierro, que todo lo hace pedazos". (Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), p. 916).

cuernos de las cuatro bestias representan las diez tribus de bárbaros (vándalos, alanos, visigodos, etc.) siendo el onceavo cuerno la Iglesia de Roma²⁵⁹. El análisis de las profecías, le permite a Newton interpretar, numéricamente, el significado de las setenta semanas a las que hace referencia Daniel²⁶⁰, ya que desde Ezra hasta la muerte de Cristo, pasaron 490 años, es decir 70 semanas, si cada semana se entiende como un periodo de 7 años. En lo que se refiere a la segunda venida de Cristo, Newton es cauteloso pues él mantenía la idea de que las profecías sólo podían interpretarse después de haber ocurrido, pero nunca antes²⁶¹.

La *Cronology of Ancient Kingdoms Amended*²⁶² empieza con la aseveración de que:

²⁵⁸ El sueño de Nabucodonosor se complementa con el sueño de Daniel, según el cual:

"Yo miraba durante mi visión nocturna, y vi irrumpir en el mar Grande los cuatro vientos del cielo y salir del mar cuatro bestias, diferentes una de otra. La primera bestia era como león con alas de águila. Yo estuve mirando hasta que le fueron arrancadas las alas y fue levantado de la tierra, poniéndose sobre los pies a modo de hombre, y le fue dado corazón de hombre. Y he aquí que una segunda bestia, semejante a un oso, y que tenía en su boca entre los dientes tres costillas, se estaba a un lado, y le dijeron: Levántate a comer mucha carne. Seguí mirando después de esto, y he aquí otra tercera, semejante a un leopardo, con cuatro alas de pájaro sobre su dorso y con cuatro cabezas, y le fue dado el dominio. Seguía yo mirando en la visión nocturna, y vi la cuarta bestia, terrible, espantosa, sobremanera fuerte, con grandes dientes de hierro. Devoraba y trituraba, y las sobras las machacaba con los pies. Era muy diferente de todas las bestias anteriores y tenía diez cuernos. Estando yo contemplando los cuernos, vi que salía de entre ellos otro cuerno pequeño, y le fueron arrancados tres de los primeros, y este otro tenía ojos como de hombre y una boca que hablaba con gran arrogancia". (Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), pp. 923-924).

²⁵⁹ cfr. Newton, I., (1991), pp. 276-307.

²⁶⁰ En respuesta a sus plegarias, el ángel Gabriel le comunica a Daniel que:

"Setenta semanas están prefijadas / sobre tu pueblo y sobre tu ciudad santa / para poner fin a la prevaricación y cancelar el pecado / para expiar la iniquidad y traer la justicia eterna, / para sellar la visión y la profecía / y ungir el santo de los santos. / Sabe, pues, y entiende / que desde la salida del oráculo / sobre el retorno y edificación de Jerusalén / hasta un ungido príncipe habrá siete semanas, / y en sesenta y dos semanas se reedificarán plaza y foso / en la angustia de los tiempos. / Después de las sesenta y dos semanas / será muerto un ungido, sin que tenga culpa. / Y destruirá la ciudad y el santuario / el pueblo de un príncipe que ha de venir, / y su fin será en una inundación, / y hasta el fin de la guerra / están decretadas desolaciones. / Y afianzará la alianza para muchos durante una semana, / y a la mitad de la semana hará cesar el sacrificio y la oblación / y habrá en el santuario una abominación desoladora / hasta que la ruina decretada venga sobre el devastador". (Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), p. 926).

²⁶¹ Para un análisis minucioso de las ideas de Newton relativas a las profecías bíblicas, cfr. Manuel, F., (1968), pp. 361-380.

²⁶² El origen de la *Cronology of Ancient Kingdoms Amended* se encuentra en un caótico manuscrito llamado *Theologiae gentilis origine philosophicae*, en el que Newton planteaba, entre otras cosas, el hecho de que todos los pueblos de la antigüedad habían adorado a los mismos 12 dioses, nombrándoles de manera diferente, y que estos 12 dioses representaban a 12 miembros de la casa de Noé, las 12 sustancias básicas de la Alquimia y doce entidades constituidas por los 7 astros (Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno), los 4 elementos (aire, agua, tierra y fuego) y la quintaesencia alquimista, que es el elemento en el que, según la tradición, reside la actividad.

Para Newton, estas teologías representaban la pérdida de la verdadera religión, la cual iba acompañada de la pérdida del verdadero conocimiento. Así, por ejemplo, el geocentrismo

"Todas las Naciones, antes de que empezaran a llevar la contabilidad exacta del Tiempo, han sido propensas a promover sus Antigüedades; y esta actitud ha sido fomentada por las Contendas entre las Naciones, acerca de sus Orígenes"²⁶³.

El planteamiento de Newton, en esta obra, es que a la historia de los pueblos de la antigüedad (griegos, persas, asirios, babilonios, etc.) se les deben recortar grandes periodos de tiempo que aparecen en sus narraciones y que son el producto de la vanidad de dichos pueblos, que deseaban resaltar sus antiquísimos orígenes. Para esta labor de recorte, Newton utiliza el *Antiguo Testamento*, la obra de Heródoto, diversos textos históricos y sus conocimientos de Astronomía. Curiosamente, es precisamente la Astronomía la clave del proyecto de la obra, pues es gracias a ella que Newton, utilizando la precesión de los equinoccios, realiza el cálculo de la fecha de la expedición de los Argonautas²⁶⁴, ubicándola alrededor del año 936 a.c., cuatro siglos y medio después de lo que suele considerarse en la historiografía tradicional.

Con la expedición de los Argonautas como referencia, Newton recortó grandes periodos de tiempo a todos los pueblos de la antigüedad, exceptuando al pueblo hebreo de este proceso de recorte, de forma tal que el *Antiguo Testamento* se convirtió en la crónica escrita más antigua, permitiéndole plantear

acompañaba a las falsas religiones, a diferencia del verdadero conocimiento, oculto en la arquitectura del Templo de Salomón, en el que el fuego central representa al Sol y las siete lámparas representan a los planetas, simbolizando la verdadera estructura del Universo.

²⁶³ En Westfall, R.S., (1996), p. 812.

²⁶⁴ En palabras de Voltaire, el método seguido por Newton es el siguiente:

"Clemente de Alejandría refiere que Quirón, que era de la expedición de los Argonautas, observó las constelaciones en tiempos de esa famosa expedición, y fijó el equinoccio de primavera en medio del Carnero, el equinoccio de otoño en medio de la Balanza, el solsticio de nuestro verano en medio de Cáncer, y el solsticio de invierno en medio de Capricornio.

Mucho tiempo después de la expedición de los Argonautas y un año antes de la guerra del Peloponeso, Metón observó que el punto del solsticio del verano pasaba por el octavo grado de Cáncer.

Ahora bien, cada signo del Zodiaco es de treinta grados. En tiempos de Quirón, el solsticio estaba a la mitad del signo, es decir, en el quinceavo grado; un año antes de la guerra del Peloponeso estaba en el octavo: luego había retrocedido siete grados. Un grado vale setenta y dos años, luego del comienzo de la guerra del Peloponeso a la empresa de los Argonautas no hay más que siete veces setenta y dos años, que hacen quinientos cuatro años, y no setecientos años, como decían los griegos. Así, comparando el estado del cielo hoy con el estado que había entonces, vemos que la expedición de los Argonautas debe situarse novecientos años antes de Jesucristo, y no alrededor de mil cuatrocientos años; y por consiguiente, el mundo es alrededor de quinientos años menos viejo de lo que se pensaba. De igual modo, todas las épocas se han acercado y todo se ha hecho más tarde de lo que dicen. No sé si este sistema ingenioso hará una gran fortuna, y si querrán resolverse, sobre estas ideas, a reformar la cronología del mundo; puede que los sabios encontrasen que sería demasiado conceder a un mismo hombre el honor de haber perfeccionado juntamente la física, la geometría y la historia; eso sería una especie de monarquía universal, a la que el amor propio se doblega malamente. También, al mismo tiempo que muy grandes filósofos le atacaban por la atracción, otros combatían su sistema cronológico. El tiempo, que debería hacer ver a quién se debe la victoria, no hará quizá más que dejar la disputa aún más indecisa". (Voltaire, (1988), pp. 145-146).

que todas las Mitologías se derivan del mismo y que la religión de Noé es la más antigua, y lo más importante, es la verdadera.

El llamado que hace Newton en la *Cronology*, es a retornar a los orígenes, a la religión verdadera, sin decir, explícitamente, aunque es obvio, que en la religión de Noé no tiene cabida la concepción trinitarista.

Observations upon the Profecies y Cronology of Ancient Kingdoms Amended componen, conjuntamente, una historia completa de la humanidad, tanto en sentido profano como sagrado.

La *Cronology of Ancient Kingdoms Amended* y su predecesora la *Theologiae gentilis origines philosophicae*, nos permiten entender el significado del intrigante pasaje final de la *Óptica*, en el que Newton plantea que:

"No sólo la filosofía natural se perfeccionará en todas sus partes siguiendo este método, sino que también la filosofía natural ensanchará sus fronteras. En la medida en que conozcamos por filosofía natural cuál es la primera causa, qué poder tiene sobre nosotros y qué beneficios obtenemos de ella, en esa misma medida se nos aparecerá con la luz natural cuál es nuestro deber hacia ella, así como hacia nosotros mismos. No cabe duda de que, si el culto a falsos dioses no hubiese cegado a los paganos, su filosofía moral habría ido más lejos de las cuatro llamadas virtudes cardinales y, en lugar de enseñar la transmigración de las almas y adorar al Sol, la Luna y los héroes muertos, nos habrían enseñado el culto al verdadero Autor y Benefactor, del mismo modo que lo hicieron sus antecesores bajo el gobierno de Noé y sus hijos, antes de que se corrompiesen"²⁶⁵.

Las concepciones teológicas de Newton se vinculan, e incluso se complementan, con sus planteamientos relativos a la Alquimia. La fusión es de tal magnitud que muchos de los escritos alquimistas de Newton están firmados bajo el seudónimo IEOUA SANCTUS UNUS²⁶⁶, que es un anagrama de su nombre latinizado ISAACUS NEUTONUS. Este seudónimo, Jehová Único Santo (Jehová Único Dios) está construido como una obvia referencia a su credo unitarista arriano²⁶⁷.

La labor alquimista de Newton cubrió todos los aspectos posibles, desde leer todo lo conseguible a través de los canales tradicionales, hasta redactar infinidad de tratados producto de sus investigaciones, pasando por la interacción que tuvo con grupos secretos de alquimistas que le proporcionaban bibliografía imposible de conseguir por los medios normales y a los que, a su vez, les proporcionaba sus escritos.

El interés de Newton por la Alquimia data de, cuando menos, 1669, año en el que, aprovechando un viaje a Londres, compró equipo de vidrio, aqua fortis,

²⁶⁵ Newton, I., (1977), p. 350.

²⁶⁶ cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 289-290.

²⁶⁷ cfr. Marquina, J.E., (1990).

aceite de perla sublimado, plata fina, antimonio, espíritu de vino, blanco de plomo, nitrato de alúmina, sal de tártaro y dos hornos, así como el *Theatrum Chemicum* de Zetzner (en seis volúmenes)²⁶⁸, lo cual muestra que ya para estas fechas se encontraba preparado para iniciar la experimentación alquímica, lo que, a su vez, significa que desde varios años atrás se había preparado en el ámbito teórico²⁶⁹. Adicionalmente, en este año compuso dos tratados de Alquimia, el primero de ellos formado por proposiciones basadas en autoridades y el otro, usualmente denominado *The Vegetation of Metals*, en el que plantea cosas como las siguientes:

"Todas las cosas son corruptibles
Todas las cosas son generables
La Naturaleza sólo trabaja en sustancias húmedas
Y con un calor suave"²⁷⁰.

En *The Vegetation of Metals*, Newton propone la necesidad de completar a la Ciencia Mecánica con una Filosofía más profunda capaz de detectar cuáles son los principios activos responsables del movimiento lo cual muestra, como desde muy joven, el proyecto intelectual de Newton contemplaba la fusión entre el discurso que hoy denominaríamos científico y otro, estrictamente extracientífico (para nosotros), que sería el teológico, siendo la Alquimia un punto intermedio entre ambos, ya que como escribió Newton "... la alquimia no trata con los metales como piensan los vulgares ignorantes, cuyo error les ha hecho despreciar esa noble ciencia, sino también con las venas materiales de cuya naturaleza Dios creó a sus servidores. Esta filosofía no es de la clase que tiende a la vanidad y al engaño, sino más bien al provecho, induciendo primero al conocimiento de Dios... su finalidad es glorificar a Dios en sus maravillosas obras. Esta filosofía a la vez especulativa y activa no sólo puede hallarse en el volumen de la naturaleza sino también en las Sagradas Escrituras, como en el Génesis, Job, Salmos, Isaías y otros. En el conocimiento de esta filosofía hizo Dios a Salomón el más grande filósofo del mundo"²⁷¹.

En los 24 años que se dedicó a la Alquimia²⁷², Newton redactó varios tratados de índole diversa. En *Clavis*, Newton propone la inversión del proceso

²⁶⁸ cfr. Christianson, G., (1986), pp. 147-148.

²⁶⁹ Muy probablemente Newton fue iniciado en el Arte alrededor de 1664, por su maestro Isaac Barrow. En las *Quaestiones quaedam philosophicae* (una sección de su cuaderno de notas, que parecen datar de 1664) encontramos que Newton ya conocía la obra de Henry More, líder intelectual de los platonistas del Christ College en Cambridge y que en su obra planteaba que el Universo no se puede separar de su Creador, debiendo existir un espíritu que actúa entre un Dios, necesariamente activo y el Universo mecánico. More estaba vivamente interesado en la Alquimia, desde una perspectiva teórica, y tenía relación con el grupo alquimista de Samuel Hartlib. Probablemente More, fue el contacto inicial con grupos de alquimistas. (cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 288-290, 301-302, 320-321 y 348-349).

²⁷⁰ En Westfall, R.S., (1996), p. 305.

²⁷¹ En Christianson, G., (1986), p. 246. El subrayado es mío.

²⁷² En el año de 1693, la salud mental de Newton se vio seriamente afectada, como lo demuestra su correspondencia de la época. (cfr. Marquina, J.E., (1990), pp. 241-243). De la época

alquímico tradicional, preocupándose no por la multiplicación del oro, sino por su desintegración, relacionando este proceso con la desintegración del becerro de oro, que hizo Moisés en las faldas del Monte Sinaí²⁷³. En el *Index Chemicus*, Newton se dedica a organizar y sistematizar prácticamente toda la información recopilada a lo largo de los años, conteniendo aproximadamente 5,000 referencias distintas²⁷⁴.

El último tratado alquimista de Newton se denomina *Praxis*, y termina con la descripción de un proceso que culmina, supuestamente, en la multiplicación. En palabras de Newton:

"Así, tú puedes multiplicar cada piedra cuatro veces y no más, porque ellas se vuelven... adecuadas para usos mágicos. Tú puedes fermentar con • , manteniéndolos en fusión durante un día, y entonces proyectarlo sobre metales. Esto es la multiplicación en cualidad. Puedes multiplicar en cantidad, por los mercurios que se hicieron primero, amalgamando la piedra con el ☿ de tres o más águilas y añadiendo su peso en agua, y si lo diseñas para metales, puedes fundir cada vez tres partes de • con uno de la piedra. Cada multiplicación aumentará su virtud diez veces, y si usas el ☿ de la segunda o tercera rotación sin el espíritu, quizás mil veces. Así, puedes multiplicar al infinito"²⁷⁵. Aparentemente, pronto se dio cuenta de que este canto de triunfo no era tal, lo cual puede ser la causa del abandono, por parte de Newton, de la experimentación propiamente alquímica.

posterior al colapso, únicamente se conocen cuatro notas fragmentarias sobre Alquimia y una transcripción, hecha por el propio Newton, de la visita de un londinense, amigo de Boyle, con el que platicó acerca de un proceso alquímico particular (la transcripción, hecha por Newton, de esta conversación, se puede encontrar en Geoghegan, D., (1957), pp. 105-106). Sin embargo, su interés por la Alquimia se mantuvo, como se transluce de algunos pasajes de la *Óptica*. (cfr. Kuhn, T.S., (1951)).

²⁷³ En *Éxodo* 32-20 se lee: "Cogió el becerro que habían hecho y lo quemó desmenuzándolo hasta reducirlo a polvo que mezcló con agua, haciéndosela beber a los hijos de Israel". (Nacar, E. y Colunga, A., (1964), pp. 166. El subrayado es mío).

²⁷⁴ Es tan impresionante el *Index Chemicus*, que Richard Westfall, al estudiarlo, señaló: "Encuentro imposible que nadie haya podido compilarlo en menos de 1,000 semanas". (Westfall, R.S., (1975), p. 179).

²⁷⁵ En Westfall, R.S., (1996), p. 530.

Los símbolos alquímicos fundamentales son:

PLANETA	SÍMBOLO	METAL
Saturno	♄	Plomo
Júpiter	♃	Estaño
Marte	♂	Hierro
Sol	☉	Oro
Venus	♀	Cobre
Mercurio	☿	Mercurio
Luna	☾	Plata

(cfr. Silberer, H., (1971), p. 118).

Aunque aquí sólo he hecho referencia a algunos escritos alquimistas de Newton²⁷⁶, no debe quedar la impresión de que su trabajo en esta área se restringe a ellos, ya que el volumen de su obra alquímica es inmenso. Estudios recientes calculan en 1,200,000 palabras los escritos alquímicos que se conservan²⁷⁷.

Dentro del proyecto intelectual de Newton, la Alquimia representaba un puente entre la descripción del mundo material, la cual era provista por la Filosofía Natural y el gran plan del Creador, que debía ser descubierto a través de la Teología. En este sentido, la Alquimia, operando a mitad de camino entre la materia y el espíritu o, mejor dicho, perteneciendo, de alguna manera, a ambos mundos, debería ser el vínculo necesario para que el proyecto totalizador pudiera llevarse a cabo, pero mientras que la fusión entre Alquimia y Teología no fue difícil de construir, no ocurrió lo mismo en lo que respecta a la Alquimia y la Filosofía Natural, obligando a Newton a ser cauteloso al señalar, en la parte final del Escolio General de los *Principia*, que:

"Podríamos ahora añadir algo sobre cierto espíritu sutilísimo que penetra y yace latente en todos los cuerpos grandes, por cuya fuerza y acción las partículas de los cuerpos se atraen unas a otras cuando se encuentran a escasa distancia y se ligan en caso de estar continuas; y los cuerpos eléctricos operan a distancias mayores, repeliendo tanto como atrayendo a los corpúsculos vecinos, y la luz es emitida, reflejada, refractada, curvada y calienta los cuerpos; y toda la sensación es excitada, y los miembros de los cuerpos animales se mueven a la orden de la voluntad, propagada por las vibraciones de este espíritu siguiendo los filamentos sólidos de los nervios, desde los órganos externos hasta el cerebro y desde el cerebro hasta los músculos. Pero éstas son cosas que no pueden ser explicadas en pocas palabras. Por otra parte, tampoco disponemos de una cantidad suficiente de experimentos para determinar con precisión y demostrar mediante qué leyes opera este espíritu eléctrico y elástico"²⁷⁸.

La búsqueda de este espíritu sutilísimo adquiere, en la *Óptica*, la forma de la reflexión en torno a la existencia de un medio etéreo a la que dedica las

²⁷⁶ Otros tratados alquímicos de Newton son: *Separatio Elementorum*, *Notanda Chemica*, *De Natura Acidorum*, *Ripley Espounded* y *Sententiae Notabiles*. La reproducción parcial de este último se puede encontrar en Taylor, S., (1956), pp. 64-82.

²⁷⁷ cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 290-291.

Para hacerse una idea del volumen de la obra alquímica y teológica de Newton, que en conjunto alcanza, aproximadamente, 2,600,000 palabras, baste decir que en una aproximación optimista *El Capital* de Karl Marx tiene aproximadamente 1,000,000 de palabras, la prosa completa de Jorge Luis Borges alcanza 500,000 palabras, la *Iliada* y la *Odisea* constan de 300,000 palabras, *Don Quijote* 450,000, *La Divina Comedia* 180,000, *Cien años de soledad* 170,000. La suma del número de palabras de todas estas obras es 2,600,000.

²⁷⁸ Newton, I., (1982), p. 817.

cuestiones que van de la 17 a la 24, en las que lo considera (a la manera de pregunta), como causa de la gravedad al señalar, en la Cuestión 21:

"¿Acaso este medio no es mucho más raro en el interior de los cuerpos densos del Sol, estrellas, planetas y cometas que en los espacios celestes vacíos que se hallan entre ellos? ¿Acaso al alejarse a grandes distancias de ellos no se torna continuamente más y más denso, causando con ello la gravedad de esos grandes cuerpos entre sí y de sus partes hacia los cuerpos, al intentar cada uno de tales cuerpos alejarse de las partes más densas del medio hacia las más raras?"²⁷⁹.

El Éter newtoniano no debe confundirse con los planteamientos de Descartes, relativos a la existencia de un *plenum*, ya que para Newton el Éter no presenta resistencia considerable, ya que si "... fuese, digamos, 700,000 veces más raro, su resistencia sería más de 600,000 veces menor que la del agua"²⁸⁰. En realidad este Éter es, prácticamente, equivalente al vacío y su única función sería la de operar como un principio activo que, como señala en sus escritos preparatorios de la *Óptica*, es una "... sustancia en la que los cuerpos se mueven y flotan y que, por tanto, carece de *vis inertiae*, si bien actúa mediante leyes distintas de las mecánicas"²⁸¹. Como señala Solís, en las notas a la *Óptica*, la "... mezcla de actividad y ausencia de pasividad (puesto que la inercia es la esencia de lo material) colocan dicho fluido en una posición intermedia entre el espíritu y la materia, como un espíritu menor, tan en consonancia con la concepción del espíritu de More²⁸², para quien un espíritu es más bien una especie de gas o de espectro sutil que una sustancia simple e inmaterial"²⁸³.

²⁷⁹ Newton, I., (1977), p. 304. El subrayado es mío.

Ver pie de página 191.

²⁸⁰ ibíd., p. 306. El subrayado es mío.

²⁸¹ En Solís, C., p. 427.

²⁸² Para More el espíritu de la naturaleza es una "... Substancia incorpórea, aunque sin sentido o animadversión, que invade toda la materia del Universo y que ejerce en ella un poder plástico, de acuerdo con las diversas predisposiciones y ocasiones de las partes sobre las que actúa, produciendo en el mundo, mediante la dirección de las partes de la materia y su movimiento, aquellos Fenómenos que no se pueden resolver en mero poder mecánico". (En Koyré, A., (1992), p. 128).

En los *Yehuda Manuscripts* se encuentra un intrigante pasaje que muestra las creencias íntimas de Newton acerca de la existencia de un extraño *plenum* de espíritus, ya que del "... mismo modo que todas las regiones están llenas de criaturas vivas... así también pueden los cielos superiores estar llenos de seres cuya naturaleza no entendemos. Quien considere detenidamente la naturaleza extraña y maravillosa de la vida y la trama de los animales no pensará que haya nada fuera de las posibilidades de la naturaleza, nada demasiado difícil para el poder omnipotente de Dios. Del mismo modo que los planetas permanecen en sus órbitas, muchos otros cuerpos subsisten a cualesquiera distancias de la Tierra y hay muchísimos más seres que tienen el poder suficiente para moverse a sí mismos, trasladarse a donde quieren, colocarse donde desean, permaneciendo en cualesquiera regiones del cielo para disfrutar allí de su mutua compañía y para regir la Tierra. Además, conversan con las más remotas regiones mediante los ángeles, sus mensajeros". (En Solís, C., (1977), pp. 427-428).

²⁸³ Solís, C., (1977), p. 426.

Este espíritu sutilísimo, este Éter, responsable de la actividad en el mundo, es el eslabón perdido en la búsqueda de la "... primerísima causa que ciertamente no es mecánica..."²⁸⁴, que debe permitir responder las acuciantes preguntas que se hace Newton en la parte final de la Cuestión 28 de la *Óptica*:

"¿Qué hay en los lugares casi vacíos de materia y cómo es que el Sol y los planetas gravitan unos hacia otros sin que haya entre ellos materia densa?"²⁸⁵, que a fin de cuentas es una pregunta física que intenta responder el misterio de la acción a distancia, pero que se conecta con preguntas cuyo contenido difícilmente puede considerarse como científico:

"¿De dónde surge que la naturaleza no haga nada en vano y de dónde todo ese orden y belleza que vemos en el mundo? ¿Cuál es la finalidad de los cometas y a qué se debe que todos los planetas se muevan en la misma dirección en órbitas concéntricas, mientras que los cometas se mueven en todas direcciones según órbitas muy excéntricas? ¿Qué impide a las estrellas fijas caer sobre otras? ¿Cómo es que los cuerpos de los animales están ingeniados con tanto arte y qué finalidad tienen sus diversas partes? ¿Acaso el ojo ha sido ingeniado sin pericia en óptica y el oído sin conocimiento de los sonidos? ¿Cómo se siguen de la voluntad los movimientos del cuerpo y de dónde surgen los instintos de los animales?"²⁸⁶, preguntas que, evidentemente, conducen a Dios, pero en las que Newton pasa de los problemas celestes (los cometas, los planetas...) a cuestionamientos relativos a los animales. Este cambio se explica por la pregunta que plantea a continuación en la que apela a una entidad, el sensorio, para explicar el comportamiento de los animales:

"¿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 nervios y el cerebro, a fin de que sean allí percibidos por su presencia inmediata en dicha sustancia?"²⁸⁷, con lo que Newton considera que ha "... despachado estas cosas correctamente..."²⁸⁸ y puede continuar haciéndose una pregunta, en la que, haciendo la analogía con lo que, según él, ocurre en la Naturaleza, puede (siempre a la manera de especulación en la que afirma

Dentro de la polémica Leibniz-Clarke, en la cuarta carta de éste último, en su papel de vocero del newtonismo, se señala que: "El espacio vacío no es un atributo sin sujeto, pues por espacio vacío no queremos decir nunca espacio vacío de toda cosa, sino tan sólo vacío de materia. En realidad, Dios está presente en todo espacio vacío y quizá también muchas otras sustancias que no son materia y que ni son tangibles ni objeto de ninguno de nuestros sentidos". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 47. El subrayado es mío).

La influencia de More en Newton no pasó desapercibida para Leibniz que en su quinta carta de la polémica con Clarke escribió: "Creo que estoy asistiendo al resurgir de las viejas fantasías del Dr. Henry More (por lo demás, una persona culta y bienintencionada) y de algunos otros que han imaginado que tales espíritus pueden tornarse impenetrables siempre que quieran". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 72).

²⁸⁴ Newton, I., (1977), p. 319.

²⁸⁵ *ibíd.*, p. 319.

²⁸⁶ *ibíd.*, p. 320. El subrayado es mío.

²⁸⁷ *ibíd.*, p. 320.

²⁸⁸ *ibíd.*, p. 320. El subrayado es mío.

mientras se pregunta) generalizar la idea de sensorio, al cuestionarse si "... ¿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?"²⁸⁹.

El sensorio, que en el caso de los animales sería una especie de alma espiritual, se convierte, en el caso de Dios, en el alma del mundo, transcurriendo el alma humana y Dios, por vías paralelas. Nuestra alma percibe por el contacto entre las imágenes y la sustancia sensitiva en el sensorio, mientras que Dios percibe por su omnipresencia en todo el Universo. La diferencia radica en que mientras que nosotros necesitamos del cuerpo que actúa como intermediario, Dios, estando presente en todas partes, siendo el espacio su propio sensorio, actúa sobre ese Éter que lo invade todo²⁹⁰.

Esta identificación del espacio con el sensorio divino era aún más evidente en la primera edición latina de la *Óptica* (1706), la cual fue corregida por Newton, una vez impresa, cortando una hoja antes de la encuadernación y sustituyéndola con otra. En la versión original se decía:

"¿Acaso el espacio del Universo no es el sensorio de un ser incorpóreo, viviente e inteligente, en el cual abarca y considera las cosas todas en sí mismas y las percibe presentes a sí mismo, y cuyas imágenes es lo único que contempla en el cerebro lo que en nosotros siente y piensa?"²⁹¹.

La teologización del espacio, al vincularlo con Dios a través de la idea del sensorio, tiene evidentes repercusiones en la Filosofía Natural, pues se conecta con el planteamiento hecho en el Escolio (que sigue a las definiciones) en las

²⁸⁹ ibíd., p. 320. El subrayado es mío.

La Cuestión 28 de la *Óptica*, famosa por el planteamiento del sensorio divino, termina con una especie de aclaración: "... aunque cada paso verdadero dado en esta filosofía no nos lleva inmediatamente al conocimiento de la causa primera, con todo, nos acerca a ella...", en la que Newton reconoce, a regañadientes, que a la construcción le faltan varios peldaños. Sin embargo y como para no quedarse con un amargo sabor de boca, el remate final plantea que dicha causa primera, a la que nos vamos acercando, "... ha de ser tenida en gran estima". (Newton, I., (1977), p. 320. El subrayado es mío).

²⁹⁰ Addison, en el *Spectator* (julio de 1714), comenta: "Otros han considerado el espacio infinito como el receptáculo, o más bien el habitáculo, del Todopoderoso. Pero el modo más notable y excelso de considerar este espacio infinito es el de Sir Isaac Newton, que lo llama el *Sensorium* de la cabeza divina. Los brutos y los hombres poseen sus *sensoriola* o pequeños sensores con los que aprehender la presencia y percibir las acciones de unos pocos objetos que están contiguos a ellos... Pero puesto que Dios Todopoderoso no puede sino percibir y conocer todo aquello en lo que reside, el espacio infinito da lugar al conocimiento infinito y es, como si dijéramos, un órgano de omnisciencia". (En Solís, C., (1977), p. 434).

Por otro lado, esta concepción que, prácticamente, lleva a la identificación del espacio con el órgano de conocimiento divino, hizo que Leibniz señalara, muy críticamente, los peligros de corporeizar a Dios, convirtiéndolo en una especie de *anima mundi*. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 20).

²⁹¹ En Solís, C., (1977), p. 434.

primeras páginas de los *Principia*. En dicho escolio, Newton plantea sus conceptos de lugar, movimiento, tiempo y espacio absolutos que son, en particular el referente al espacio absoluto, perfectamente consistentes con la idea del sensorio divino. El espacio, en tanto que propiedad de Dios, no podía ser más que absoluto²⁹².

La absolutización de conceptos del Escolio inaugural, se conecta con la caracterización que hace Newton de Dios en el Escolio General al señalar que:

"Él no es eternidad e infinitud, sino eterno e infinito; no es duración o espacio, pero dura y está presente. Él dura siempre y está presente en todas partes; existiendo siempre y en todas partes, él constituye la duración y el espacio... Dios es uno y el mismo Dios siempre y en todas partes. Su omnipresencia no es sólo virtual sino substancial, pues la virtud no puede subsistir sin substancia. Todas las cosas están contenidas y movidas en él..."²⁹³. Así como un ciego no tiene idea de los colores, así carecemos nosotros de idea sobre el modo en que el Dios sapientísimo percibe y entiende todas las cosas. Él está radicalmente desprovisto de todo cuerpo y figura corporal... Tenemos ideas sobre sus atributos, pero no conocemos en qué consiste la substancia de cosa alguna... mucho menos podremos formar cualquier idea sobre la substancia de Dios. Sólo le conocemos por propiedades y atributos, por las sapientísimas y óptimas estructuras de las cosas y causas finales; le admiramos por sus perfecciones... Toda esa diversidad de cosas naturales, que hallamos adecuada a tiempos y lugares diferentes, sólo puede surgir de las ideas y voluntad de un Ser que existe por necesidad... todas nuestras nociones de Dios se obtienen mediante cierta analogía con las cosas humanas, analogía que a pesar de no ser perfecta conserva cierta semejanza"²⁹⁴.

Esta larguísima caracterización de Dios, esta, en principio extrañísima²⁹⁵, letanía teológica, termina, como suele hacer Newton en sus momentos de especulación, con un giro de ciento ochenta grados al señalar:

"Y esto por lo que concierne a Dios, de quien procede ciertamente hablar en filosofía natural partiendo de los fenómenos"²⁹⁶.

En el Escolio General puede detectarse el reconocimiento del fracaso en el intento de lograr la conexión entre el mundo de los fenómenos y la causa de los mismos. La búsqueda de que dicha conexión sea provista por la Alquimia no se ha materializado en un *corpus* cognoscitivo que pueda vincular, siguiendo la

²⁹² Los conceptos de lugar, movimiento, tiempo y espacios absolutos, serán analizados en la parte relativa al nivel teórico de la TI newtoniana.

²⁹³ Pablo, en los *Hechos de los Apóstoles* (17:28) dice, refiriéndose a Dios: "... en Él vivimos y nos movemos...". (Nacar, E. y Colunga, A., (1964), p. 1141). Newton pretende convertir la metáfora paulista en un hecho científico.

²⁹⁴ Newton, I., (1973), pp. 545-546. El subrayado es mío.

²⁹⁵ Para quien lee los *Principia*, pensando en el Newton racionalista de la tradición.

²⁹⁶ Newton, I., (1982), p. 816.

metodología newtoniana, a Dios con los fenómenos del movimiento. Sin el puente necesario, Newton tiene que apelar a que se podría "... añadir algo sobre cierto espíritu sutilísimo...", pero no se dispone de "... una cantidad suficiente de experimentos...". Dios no puede ser demostrado, y Newton tiene que conformarse con especular. De los fenómenos llega a la gravedad pero Newton reconoce que no ha "... logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad..."²⁹⁷. La causa final, a la que pretendía arribar, es Dios, pero la cadena se rompe y Newton se ve obligado a apelar no a su método sino a una especie de sentido común ya que el "... elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas sólo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso"²⁹⁸.

En sentido estricto, Newton, que no quiso, como Descartes, partir de la existencia de Dios, sino que tuvo la pretensión de arribar a Él, partiendo de los fenómenos, tiene que recluirse (él, que renegó de las hipótesis) en la construcción de la hipótesis de Dios²⁹⁹, con argumentos tales como que una "... uniformidad tan maravillosa en el sistema planetario exige el reconocimiento de una voluntad e inteligencia"³⁰⁰.

El objetivo de Newton de construir una gran TI que abarque a la Alquimia, la Teología y la Filosofía Natural, fracasa rotundamente, como puede comprobarse fácilmente, observando lo que las comunidades científicas han interpretado por newtonismo. De la Alquimia y la Teología no ha quedado nada, simplificándose el proceso de depuración por el hecho de que Newton mismo trazó en sus textos las demarcaciones y, además, por el hecho de que los *Principia* es un libro que, dado que no fue redactado utilizando Cálculo Diferencial e Integral, envejeció muy rápidamente y la TI newtoniana fue reescrita y estudiada en textos en los que las especulaciones newtonianas fueron borradas. Sin embargo, lo relevante de profundizar en las metas de Newton, radica en el hecho de que, independientemente de su fracaso, estos elementos jugaron un papel fundamental tanto en los estándares metodológicos de Newton, como en la construcción y planteamiento de los conceptos que lo han hecho inmortal.

III.2 La meta de crear un patrón para la investigación en Filosofía Natural

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

²⁹⁷ ibíd., p. 817.

²⁹⁸ ibíd., p. 814. El subrayado es mío.

²⁹⁹ Cuando Laplace fue inquirido por Napoleón sobre la razón por la que no se había referido a Dios en su *Mécanique Céleste*, su respuesta fue que "No necesité de esa hipótesis" ("Je n'avais pas besoin de cette hypothèse-la"), en obvia referencia crítica a Newton. (En Cajori, F., (1973), p. 677).

³⁰⁰ Newton, I., (1977), p. 347. El subrayado es mío.

Cambridge, Newton tuvo que empezar su formación en libros como el *Physiologiae Peripateticae Libri Sex Cum Commentariis* de Johannes Magirus³⁰¹ que, como su nombre lo indica, representaba el legado de la filosofía aristotélica, 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. Estas dos corrientes eran 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 Society³⁰².

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 aceptado³⁰³.

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

³⁰¹ cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 83-87.

³⁰² El objetivo de los promotores para la creación de la Royal Society, era el de recrear la Casa de Salomón, descrita por Bacon en su *New Atlantis*. (cfr. Bacon, F., (1980b), pp. 199-214).

En la *Oda a la Royal Society*, Abraham Cowly señala:

De estos y todos los muchos errores del camino,

En los que incurrieron nuestros errantes predecesores,

Y como los antiguos hebreos se extraviaron durante muchos años

Por desiertos pero poco extensos,

Bacon, como Moisés, nos hizo alejarnos al fin.

El desierto estéril dejó atrás,

Se detuvo en el mismo límite

De la bendita tierra prometida,

Y desde la cumbre de la montaña de su insigne talento,

La contempló él mismo, y nos la mostró.

(En Farrington, B., (1971), p. 24).

De igual manera, Thomas Sprat, en la primera historia de la Royal Society (1667) homenajea a Bacon al decir: "Sólo mencionaré a un gran hombre, que en verdad imaginó esta empresa en toda su extensión, tal y como está ahora puesta en marcha; me estoy refiriendo a lord Bacon, en cuyos libros se encuentran, esparcidos por todas partes, los mejores argumentos que pueden aducirse en defensa de la filosofía experimental y las mejores instrucciones que son necesarias para promoverla; todo lo cual ha adornado con tanto arte, que si algunos excelentes amigos míos, que me encargaron este trabajo, se hubieran plegado a mis deseos no hubiera habido otro prólogo a esta historia de la Real Sociedad que algunos de sus escritos". (En Farrington, B., (1971), p. 25).

³⁰³ En general, la seguridad de los cartesianos en torno al sistema de Descartes, contrasta con la prudencia de éste al señalar que su deseo es que "... lo que he escrito sea solamente tomado como hipótesis, algo que, tal vez, esté alejado de la verdad... creo que he hecho algo si todas las cosas que se deduzcan de ello, están enteramente en conformidad con la experiencia..." (En Koyré, A., (1965), p. 34). La aceptación del posible divorcio entre hipótesis y verdad se confirma cuando él plantea que "... supondré aquí varias [hipótesis] que creo son falsas... su falsedad no impide totalmente que lo que se deduce de ellas sea verdadero". (En Koyré, A., (1965), p. 34).

de las que se encuentran llenos los anales de las *Philosophical Transactions*. La estrechez de esta concepción se refleja en el caso de la *Micrographia* de Robert Hooke que, para ser 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"³⁰⁴. En respuesta a esta solicitud, Hooke, en su dedicatoria a la Royal Society señala que "... junto con VUESTRA aceptación, he de solicitar también VUESTRO perdón. Las reglas que OS habéis prescrito a VOSOTROS mismos para VUESTRO progreso filosófico parecen ser las mejores que nunca se hayan practicado, especialmente la relativa a evitar el dogmatismo y la aceptación de cualquier hipótesis insuficientemente fundamentada y confirmada por experimentos... Al afirmar estas cosas, quizá dé la impresión de estar condenando mi propia manera de proceder en este tratado, en el que tal vez se encuentren algunas expresiones que acaso parecen más positivas de lo que permiten VUESTRAS prescripciones"³⁰⁵.

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 y, por el método de exhaustión, ir las desechando (de alguna manera) de una en una, para quedarse únicamente con la que hubiese sobrevivido al escrutinio. De hecho, Hooke inició, en 1668, un tratado denominado *Un esquema general o idea del estado actual de la Filosofía Natural y de cómo se pueden remediar sus defectos, procediendo metódicamente a realizar experimentos y realizar observaciones con los que compilar una historia natural que sea el sólido cimiento de la superestructura de la verdadera filosofía*, en el que, el proyecto baconiano se ve enriquecido con la idea de formular hipótesis que deben ser confirmadas o rechazadas por experimentos y observaciones. A decir de Solís, este tratado "... es plenamente baconiano, aunque está sesgado hacia la formulación de hipótesis y su confirmación o disconfirmación experimental, en lugar de recomendar la mera recopilación de datos a la espera de una inducción sin conjeturas..."³⁰⁶.

Ante, al menos, 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, en una carta a Oldenburg (julio de 1672), Newton señala:

³⁰⁴ En Hooke, R., (1989), p. 620.

³⁰⁵ Hooke, R., p. 119.

³⁰⁶ Solís, C., (1989), p. 620.

"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..."³⁰⁷, 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, como apunta Newton en una carta a Pardies en la que plantea que:

"Si cualquiera ofrece conjeturas acerca de la verdad de las cosas desde la mera posibilidad de una hipótesis, yo no veo cómo 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 que uno debería abstenerse de considerar hipótesis..."³⁰⁸.

La crítica a los cartesianos, se hace evidente en el Prefacio a la segunda edición de los *Principia*, en el que Roger Cotes plantea:

"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"³⁰⁹.

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"³¹⁰.

Esta forma de entender a las hipótesis representa, para Newton, una forma de dogmatismo metodológico, que invierte el orden acerca de cómo debe procederse en el proceso de investigación³¹¹. La refutación de una teoría legítima (entendida ésta a la manera newtoniana) sólo podrá darse mostrando la insuficiencia de la evidencia experimental a favor o mostrando evidencia

³⁰⁷ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), pp. 120-121.

³⁰⁸ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 120.

Esta carta está dirigida a Oldenburg, como intermediario en la correspondencia entre Newton y Pardies.

³⁰⁹ En Newton, I., (1982), p. 214.

El prefacio de Roger Cotes, evidentemente contó con la venia de Newton.

³¹⁰ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 206.

³¹¹ Newton plantea (en el Libro III) en sus Reglas para Filosofar, una Regla (la IV), encaminada a impedir que la inducción sea suprimida a través de hipótesis.

experimental que muestre lo contrario, tal como asegura Newton en una carta a Oldenburg, en la que escribe:

"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: 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 haciéndose experimentos, los cuales directamente me contradigan... 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"³¹².

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 experimentos³¹³.

Como es obvio de todo el *corpus* de su obra, Newton sí hacía hipótesis, como por ejemplo la relativa al carácter corpuscular de la luz, pero negaba que dicha hipótesis fuera la base de su constructo óptico, en particular su teoría de los colores, y fue la incomprensión 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 (1672)³¹⁴.

³¹² En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 121-122.

³¹³ En abierta concordancia con los preceptos newtonianos, Locke plantea que quien "... se ponga a considerar lo poco que han servido para promover el conocimiento verdadero, o para satisfacer las investigaciones de los hombres sensatos en la búsqueda de adelantos verdaderos, las máximas generales, los principios precarios y las hipótesis formuladas a la ligera, quien considere, digo lo poco que, durante muchos siglos juntos, ha servido el partir de esas máximas, principios e hipótesis en el progreso de los hombres hacia el conocimiento de la filosofía natural, sabrá admitir que debemos agradecer a quienes, en esta edad nuestra, han tomado otro camino...". (Locke, J., (1999), p. 651).

³¹⁴ A través de una carta fechada el 6 de febrero de 1672, Isaac Newton envió a la Royal Society un tratado sobre la luz y los colores que despertó tal interés que Henry Oldenburg, editor de las *Philosophical Transactions*, le envió una respuesta en la que le solicitaba su autorización para publicarlo inmediatamente. Newton aceptó y el 19 de febrero apareció en dicha revista.

Independientemente de la publicación, la Royal Society encargó a Robert Boyle y a Robert Hooke que revisaran el trabajo y dieran un informe del mismo. Como Boyle se encontraba muy ocupado le dejó la tarea a Hooke, quien el 15 de febrero (sólo una semana después) presentó su análisis en el cual señalaba:

"He examinado el excelente trabajo del señor Newton... y me he sentido muy complacido con la delicadeza y curiosidad de sus observaciones. Pero aunque estoy totalmente de acuerdo con él respecto a la veracidad de lo que alega, habiendo hallado que es así tras muchos centenares de pruebas, sin embargo en lo que a esta hipótesis para salvar el fenómeno de los colores se refiere, debo confesar que no veo todavía ningún argumento innegable que me convenza de su exactitud. Porque todos los experimentos y observaciones que he hecho hasta la

fecha, del mismo modo que los experimentos alegados por él, me parece que prueban que la luz no es más que un pulso de movimiento propagado a través de un medio homogéneo, uniforme y transparente". (En Christianson, G.E., (1986), p. 177).

Lo que Hooke no aceptaba era la concepción corpuscular de la luz de Newton y fue dicha respuesta la que inició las profundas divergencias que estos dos grandes científicos tuvieron a lo largo de sus vidas.

Aunque la respuesta de Hooke nunca se publicó, en noviembre de ese mismo año apareció la contrarrespuesta de Newton, en la cual, entre otras cosas, decía: "... no dudo que tras un examen más atento dará por cierto la verdad tal como yo la he afirmado... ". (En Christianson, G.E., (1986), p. 181) ya que "... no mezclo conjeturas con certezas... ". (En Christianson, G.E., (1986), p. 181).

También de Francia llegó una carta de Ignace Gaston Pardies, el cual planteaba que "... la muy extraordinaria hipótesis...". (En Christianson, G.E., (1986), p. 184) de Newton, debía de corroborarse a través de un experimento que él mismo planteaba.

A pesar de que Newton contestó diplomáticamente, no pudo evitar mostrar la molestia que le producía la opinión del jesuita, la cual se transluce en este párrafo de su respuesta:

"Me siento contento de que el Reverendo Padre llame a mi teoría una hipótesis si ésta aún no ha sido probada a su satisfacción. Pero mi finalidad era completamente distinta, y no parece contener nada más que algunas propiedades de la luz que, descubiertas ahora, creo que no son difíciles de probar, y que si no supiera que son ciertas hubiera preferido rechazar como especulaciones vanas y vacías antes que verlas reconocidas como hipótesis mías". (En Westfall, R.S., (1996), p. 242).

Pardies, sintiendo el rugido del león inglés, respondió inmediatamente y con tono respetuoso señaló:

"Cuando llamé a la teoría una hipótesis lo hice no a propósito, sino que utilicé el primer término que acudió a mi mente". (En Christianson, G.E., (1986), p. 185).

Como el jesuita agregaba a su explicación una idea que ya había sido considerada y refutada por Newton, éste se vio obligado a volver a contestarle y entre otras cosas señaló: "...la doctrina que expliqué... consiste solamente en algunas propiedades de la luz, sin atención a ninguna hipótesis... porque el mejor y más seguro método de filosofar parece ser primero inquirir diligentemente sobre las propiedades de las cosas y establecer esas propiedades con experimentos, y luego proceder más lentamente a elaborar hipótesis que las expliquen... Porque si la posibilidad de las hipótesis es ser prueba de la verdad y realidad de las cosas, no veo cómo puede ser obtenida la certeza en ninguna ciencia". (En Newton, I., (1973), p. 673).

Pardies se sintió satisfecho y terminó la controversia con él.

Para colmo, en 1673, Huygens, que en un principio había calificado de altamente ingeniosa la teoría de Newton, empezó a cambiar su opinión y escribió un ensayo en el que señalaba que "... aunque ha encontrado su hipótesis, no nos ha explicado hasta ahora en qué consiste la naturaleza y diferencia de los colores, sino solamente el accidente". (En Westfall, R.S., (1996), p. 249).

Newton tardó en contestar y cuando lo hizo, le señaló a Huygens que:

"Nunca pretendí mostrar en qué consiste la naturaleza y la diferencia de los colores, sino solamente mostrar que de facto son cualidades originales e inmutables de los rayos que los exhiben, y dejar a otros explicar mediante hipótesis mecánicas la naturaleza y diferencia de esas cualidades, lo cual considero que no es una materia muy difícil". (En Newton, I., (1973), p. 674).

Huygens, que no quería peleas, contestó que "... había materia para responderle... pero viendo que él mantiene su opinión con tanto ardor, decido no hacerlo". (En Christianson, G.E., (1986), p. 203).

Así concluye este primer round de Newton con los filósofos naturales de la época y resulta claro que ni el mismo Huygens llegaba a ver el alcance de los planteamientos newtonianos y mucho menos la precisión lingüística y conceptual que Newton le asignaba al término hipótesis.

Newton guardó silencio durante 2 años y finalmente, en 1675, mandó a la Royal Society un atrevido y complejo ensayo denominado *Hypotheses of Light* (Newton, I., (1995), (eds.), (1995), pp. 12-34) en el que señala: "... he observado las cabezas de algunos grandes virtuosos correr tras las hipótesis, como si mis discursos desearan una hipótesis que los explicara, y he descubierto que

El concepto de hipótesis de Newton era tan diferente al de sus contemporáneos, e incluso al nuestro, que al aparecer la primera edición de los *Principia*, en el *Journal des Sçavans* (1688), apareció una reseña del libro, en la que el autor (anónimo) planteaba que se trataba de un libro matemático e hipotético y no de Filosofía Natural, en el que Newton "... confiesa esto mismo al comienzo del tercer libro donde, no obstante, se esfuerza por explicar el Sistema del Mundo. Más ello se realiza tan sólo mediante hipótesis, la mayoría de las cuales son arbitrarias..."³¹⁵. Es curioso constatar que no obstante la pretensión newtoniana de separar certezas de conjeturas, siempre terminaba siendo acusado de hacer hipótesis (en el mal sentido), con la consecuente minimización por lo realizado. Estas interminables controversias ponen de relevancia que, en realidad, lo que ocurría es que Newton estaba inaugurando una nueva TI que se oponía al resto de tradiciones imperantes, en particular a la cartesiana que era, de alguna manera, dominante, y que la batalla entre ellas se daba en todos los niveles, en particular en el metodológico, en el que Newton proponía un conjunto de cánones difíciles de entender, y mucho más difíciles de aceptar, por los seguidores de otras TI. En esta competencia, Newton fue incluso acusado por Leibniz y su entorno (Bernoulli, Huygens, etc.) de apelar, en el caso de la gravedad, a las cualidades ocultas de los escolásticos, que era la más detestable construcción hipotética (incluso para los cartesianos).

En respuesta a esta acusación, Cotes, en el prefacio a la segunda edición de los *Principia*, señala:

algunos, cuando no he podido plantearlas, las han dado por sentadas, cuando yo hablaba de la naturaleza de la luz y de los colores en forma abstracta, tomando por una hipótesis lo que yo daba como una ilustración a mi discurso; por esta razón he considerado conveniente enviaros una descripción de las circunstancias de esta hipótesis como tendiente a ilustrar el ensayo que os mando aquí. Y sin embargo no debo asumir ni ésta ni ninguna otra hipótesis, ni pensar que es necesario preocuparme de si las propiedades de la luz, descubiertas por mí, deben ser explicadas por ésta o por la del señor Hooke o por cualquier otra hipótesis... ". (Newton, I., (1995), p. 14).

Junto con este ensayo, envió también un segundo ensayo, denominado *Discourse of Observations*, que es prácticamente el Libro II de la *Óptica*.

Con estos dos ensayos, la polémica con Hooke llegó a niveles excepcionalmente altos, pues éste aseguró que todo lo hecho por Newton lo había tomado de su *Micrographia*, llevando adelante sólo algunos detalles.

Esta polémica terminó con diplomáticas cartas entre Hooke y Newton, en las que Newton le espetó su famosa frase, que normalmente se utiliza para señalar la modestia de Newton, y que entendida en el contexto de la controversia es realmente lo contrario. La frase, a la letra dice:

"Lo que hizo Descartes representó un buen paso. Vos le habéis añadido mucho en varios sentidos. Si he visto más lejos ha sido subiéndome sobre los hombros de gigantes". (En Westfall, R.S., (1996), p. 274).

La expresión 'en hombros de gigantes' era muy familiar en época de Newton. Su origen proviene de, al menos el siglo XIII, ya que se encuentra representada en los vitrales de la Catedral de Chartres, construida aproximadamente en 1227, en los que se pueden observar a los cuatro evangelistas, Lucas, Mateo, Juan y Marcos, subidos en los hombros de los profetas, Jeremías, Isaías, Ezequiel y Daniel. (cfr. Gjertsen, D., (1989), pp. 37-39).

³¹⁵ En Cohen, I.B., (1983), p. 117. El subrayado es mío.

Esta incompreensión, de la que el *Journal des Sçavans* es sólo un ejemplo, debe haber sido el origen de los cambios introducidos en la segunda edición de los *Principia*.

"Sé que algunos desaprueban esta conclusión, murmurando algo sobre cualidades ocultas. Nos reprochan continuamente que la gravedad es una cualidad oculta, y que las causas ocultas deben abolirse de la filosofía. Pero es fácil responder a eso, pues son causas ocultas aquellas cuya existencia es oculta e imaginada, jamás probada, no aquellas cuya existencia real es demostrada claramente por observaciones. En consecuencia, la gravedad no puede en modo alguno considerarse una causa oculta de los movimientos celestes, porque es obvio partiendo de los fenómenos que un poder semejante tiene existencia real. Quienes recurren a causas ocultas son los que explican esos movimientos mediante remolinos de una materia completamente ficticia e imperceptible para nuestros sentidos"³¹⁶.

En el proyecto newtoniano de entronizar un conjunto de criterios para la Filosofía Natural, juegan un papel preponderante las Reglas para Filosofar, que pretenden constituirse en un canon metodológico coherente, cuyo propósito fundamental era el de establecer las pautas relativas a la forma de proceder en Filosofía Natural. En este sentido, las cuatro reglas no son totalmente satisfactorias pues, más allá de las imprecisiones y ambigüedades a las que hice referencia en la parte relativa a la metodología, no representan un fiel reflejo de la compleja concepción metodológica newtoniana prestándose, incluso, a burdas simplificaciones y siendo, muy probablemente, el origen de muchas interpretaciones erróneas o cuando menos parciales.

Los esfuerzos de Newton por establecer, de manera definitiva, su concepción de la Filosofía Natural, alcanzan un máximo cuando al llegar, en 1703, a la Presidencia de la Royal Society³¹⁷, planteó un plan maestro para la reconstrucción de dicha institución que tituló *Scheme for establishing the Royal Society*, el cual empezaba aclarando que la Filosofía Natural "... consiste en descubrir la trama y operaciones de la Naturaleza, reduciéndolas, en la medida de lo posible, a Reglas generales o Leyes, estableciendo esas reglas por observaciones y experimentos, y deduciendo de ellos las causas y efectos de las cosas..."³¹⁸.

La obra estaba terminada, la Royal Society podría haber trocado la oda de Cowley a Bacon por la oda de Halley a Newton:

"Venid, pues, los que sabéis deleitaros con el néctar
Celestial a celebrar conmigo en cánticos el nombre
De Newton, grato a las Musas, porque él
Abrió los tesoros ocultos de la verdad:
Tan caudalosamente derramó Apolo, el Sol, en su espíritu

³¹⁶ En Newton, I., (1982), pp. 213-214. El subrayado es mío.

³¹⁷ Una vez muerto Hooke y en una elección, al menos, poco ortodoxa. (cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 627-629).

³¹⁸ En Westfall, R.S., (1996), p. 632.

Y en su pecho puro el resplandor de su propia divinidad.
Ningún mortal puede acercarse más a los dioses³¹⁹.

³¹⁹ En Newton, I., (1982), p. 198.
La Oda completa dice:

AL MUY ILUSTRE VARÓN
ISAAC NEWTON
Y A ÉSTE SU TRABAJO FÍSICO-MATEMÁTICO,
SIGNO EGREGIO DE NUESTRO TIEMPO Y NUESTRA ESTIRPE

Contempla tu penetrante mirada la pauta de los cielos
Y el equilibrio de las masas en cálculos divinos,
Traza las omnipresentes leyes que el creador violar
No quiso, tomando como cimientos de sus obras.
Ya no se oculta la fuerza que mueve el orbe más lejano,
Ganados al fin los lugares recónditos de los cielos.
Encaramado sobre su trono el Sol ordena a todas las cosas
Tender hacia él por inclinación y caída,
Y no padece que los cursos de las estrellas sean rectos
Mientras se mueven cruzando el vasto vacío;
Sino que consigo mismo como centro acelera los orbes
En inmóviles elipses. Conocemos ahora los rumbos
Bruscamente cambiantes de los cometas, otrora fuente
De pavor; no temblamos ya acobardados bajo apariencias
De astros barbados. Aprendimos al fin por qué la Luna
Pareció en otro tiempo viajar con pasos desiguales,
Como negándose -burlona- a someter a números su andadura,
Hasta hoy misteriosa para todo astrónomo; aprendimos
Por qué aunque las Estaciones se van y luego vuelven
Las Horas se mueven siempre adelante en su camino;
Y explicadas también están las fuerzas de lo profundo,
Cómo la errante Cyntia agita las mareas, por lo cual
La resaca, abandonando ahora los sargazos junto a la orilla,
Expone bancos de arena sospechados por los marinos,
Volviendo luego a lanzar sus altas olas sobre la playa.
Son contempladas ahora a la luz de la razón,
Disueltas al fin por la ciencia las nubes de ignorancia,
Cuestiones que humillaron la mente de antiguos sabios
Y a nuestros instruidos doctores suelen conducir
A pretensiones no por voceadas menos vanas. Aquellos
Sobre quienes el espejismo arroja su lóbrego manto de duda
Alzados ahora sobre las olas cedidas por el genio sublime
Pueden penetrar en las mansiones de los dioses
Y escalar las alturas del cielo.
Alzaos, hombres mortales, y apartando cuidados terrenos
Aprended la potencia de una mente de celeste linaje
Retirada del rebaño en su pensar y vivir.
Quien con las tablas de la ley prohibió el crimen,
El robo, el adulterio y los fraudes del perjurio,
Instalando a pueblos nómadas en urbes rodeadas de
Murallas fue el fundador del Estado.
Quien bendijo la raza con el don de Ceres,
Quien extrajo de las uvas un bálsamo curativo,
O mostró cómo sobre un tejido hecho de juncos

III.3 La meta de resolver problemas

En el contexto de la ciencia del movimiento del siglo XVII pareciera ser, visto en retrospectiva, que el mayor problema a resolver era el de construir una dinámica, consistente con la cinemática galileana y que, adicionalmente, replanteara el problema de la física celeste, de forma tal que se pudieran validar o invalidar las diversas posturas cosmológicas prevalecientes (elipses keplerianas y vórtices cartesianos). En este sentido, la meta newtoniana (cumplida a cabalidad en los *Principia*) de construir una dinámica, representa el marco general en el que deben verse la infinidad de problemas, tanto empíricos como conceptuales, que resuelve y que genera la TI newtoniana.

Estos problemas van desde la aclaración del concepto de fuerza y la explícita diferenciación entre masa y peso, hasta la solución de diversos problemas empíricos de astronomía, pasando por la apropiación no sólo del discurso galileano y kepleriano sino también de la teoría del impacto de Huygens, que es una teoría que formaba parte de una TI rival (la cartesiana).

Para poder visualizar la relevancia de la dinámica newtoniana, es necesario hacer un somero recorrido por la ciencia del movimiento hasta antes de la aparición de los *Principia*. Para los fines de este trabajo, esta historia empieza, necesariamente, con Galileo (1564-1642).

La ciencia del movimiento es una de las dos nuevas ciencias a las que se refiere el título de la más importante obra científica de Galileo, los *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, attinenti alla meccanica e i movimenti locali*³²⁰.

En el inicio de la Tercera Jornada de los *Discorsi*, Galileo nos plantea la idea básica a tratar, al señalar:

Que crecen en las márgenes del Nilo pueden grabarse
Símbolos de sonidos, presentando así la voz a la vista,
Ese hombre iluminó al humano lote aligerando
Las miserias de la vida con cierta felicidad.
Pero ved ahora que, admitidos al banquete de los dioses,
Contemplamos la política del cielo
Y haciendo patentes los secretos ocultos de la Tierra
Discernimos el orden inmóvil de las cosas
Y lo que decretaron en el pasado los siglos del mundo.
Venid, pues, los que sabéis deleitaros con el néctar
Celestial a celebrar conmigo en cánticos el nombre
De Newton, grato a las Musas, porque él
Abrió los tesoros ocultos de la verdad:
Tan caudalosamente derramó Apolo, el Sol, en su espíritu
Y en su pecho puro el resplandor de su propia divinidad.
Ningún mortal puede acercarse más a los dioses.

(En Newton, I., (1982), pp. 197-198).

³²⁰ Los *Discorsi* se publicaron en Leyden en 1638. Constan de cuatro jornadas, las dos primeras dedicadas a la ciencia de los materiales y la tercera y cuarta a la ciencia del movimiento.

"Expongamos, ahora, una ciencia nueva acerca de un tema muy antiguo. No hay, tal vez, en la naturaleza nada más viejo que el movimiento y no faltan libros voluminosos sobre tal asunto, escritos por los filósofos. A pesar de todo esto, muchas de sus propiedades, muy dignas de conocerse, no han sido observadas ni demostradas hasta el momento. Se suelen poner de manifiesto algunas más inmediatas, como la que se refiere, por ejemplo, al movimiento natural [*naturalem motum*] de los cuerpos que al descender se aceleran continuamente, pero no se ha demostrado hasta el momento la proposición según la cual tiene lugar tal aceleración. En efecto, que yo sepa nadie ha demostrado que un móvil que cae partiendo de una situación de reposo recorre, en tiempos iguales, espacios que mantienen entre sí la misma proporción que la que se da entre los números impares sucesivos comenzando por la unidad.

Se ha podido observar que los cuerpos lanzados, es decir, los proyectiles, describen una línea curva de cierto tipo; ahora bien, que tal línea es una parábola no lo ha demostrado nadie...

Dividiremos lo que vamos a tratar en tres partes. En la primera, consideraremos aquello que atañe al movimiento constante o uniforme. En la segunda parte trataremos del movimiento uniformemente acelerado. En la tercera, finalmente, del movimiento violento, es decir, de los proyectiles"³²¹.

La concepción del movimiento elaborada por Galileo, le permite construir una cinemática, en la que el movimiento no debe ser entendido como un proceso sino como un estado en el que el movimiento y el reposo tienen el mismo *status* ontológico. Es precisamente este cambio de *status* ontológico lo que permite a Galileo plantear, al analizar el movimiento de proyectiles, que dicho movimiento se puede descomponer en un par de componentes, una horizontal y otra vertical³²².

El viejo ideal pitagórico de matematización alcanza, en las famosas ecuaciones cinemáticas de Galileo, un momento culminante, al lograr describir las relaciones entre velocidades, distancias, tiempos y aceleraciones, cumpliéndose cabalmente el proyecto planteado por él en *Il Saggiatore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi Sigensario* (1623), según el cual:

"La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y

³²¹ Galilei, G., (1981 a), p. 265-266.

³²² En los *Discorsi*, el Teorema I, Proposición I de la Jornada Cuarta dice: "Un proyectil que se desliza con un movimiento compuesto por un movimiento horizontal y uniforme y por un movimiento descendente, naturalmente acelerado, describe, con dicho movimiento, una línea semiparabólica". (Galilei, G., (1981a), p. 384).

otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar en un oscuro laberinto³²³.

La completa geometrización del Cosmos, que implicaba la sustitución de los cuerpos físicos por objetos geométricos, se ve frenada por el hecho de que Galileo no es capaz (ni siquiera lo intenta) de deshacerse de la noción de pesantez. Para él, los cuerpos físicos son, por definición, cuerpos graves y su física se constriñe a la cinemática de los graves, acercándose al principio de inercia (tal y como lo plantea Newton en su primera ley) al señalar:

"Imaginemos un móvil proyectado sobre un plano horizontal del que se ha quitado el más mínimo roce; sabemos ya que en tal caso, y según lo hemos expuesto detenidamente en otro lugar, dicho movimiento se desenvolverá sobre tal plano con un movimiento uniforme y perpetuo, en el supuesto de que este plano se prolongue hasta el infinito. Si, por el contrario, nos imaginamos un plano limitado y en declive, el móvil que suponemos dotado de gravedad, una vez que ha llegado al extremo del plano y continúa su marcha, añadirá al movimiento precedente, uniforme e inagotable, esa tendencia hacia abajo, debida a su gravedad³²⁴.

Y de igual manera, en otro fragmento de los *Discorsi*, señala:

"Además, se puede suponer con razón que, sea el que fuera el grado de velocidad que se dé en un móvil, queda por naturaleza indeleblemente impreso en él con tal de que no intervengan causas externas, que lo aceleren o lo retarden; tal estado constante sólo ocurre en el plano horizontal... Se sigue de aquí, igualmente, que el movimiento sobre el plano horizontal tiene también la propiedad de ser eterno, ya que si es uniforme no aumenta ni disminuye, ni mucho menos cesa³²⁵.

En las citas anteriores, un lector moderno vería con claridad el principio de inercia y tal vez Newton mismo lo reconoció así³²⁶, pero de hecho, esto no es estrictamente cierto, pues en el plano horizontal, al que hace referencia Galileo, la recta es considerada equivalente al arco de circunferencia, ya que si el plano horizontal se prolongara, lo que se tendría sería una superficie esférica concéntrica a la Tierra. Lo que Galileo plantea realmente es la idea de una inercia circular consistente con la cosmología del *Dialogo di Galileo Galilei Linceo, dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due sistemi del mundo, tolemaico e copernicano* (1632), en el que señala:

³²³ Galilei, G., (1981b), p. 63.

³²⁴ Galilei, G., (1981a), p. 384. El subrayado es mío.

³²⁵ ibíd., p. 346. El subrayado es mío.

³²⁶ En el Escolio a las Leyes de Movimiento, en los *Principia*, Newton dice:

"Hasta aquí he expuesto principios aceptados por los matemáticos y confirmados por experiencias múltiples. Por medio de las dos primeras Leyes y los dos primeros Corolarios, Galileo descubrió que la caída de los graves variaba como el cuadrado del tiempo, y que el movimiento de proyectiles seguía la curva de una parábola...". (Newton, I., (1982), p. 246).

"Habiendo establecido este principio se puede concluir inmediatamente que, si todos los cuerpos en el mundo deben ser móviles por su naturaleza, es imposible que su movimiento sea rectilíneo, o de otro tipo que no sea circular, y la razón de ello es muy fácil y manifiesta. De cualquier manera, lo que se mueve con movimiento rectilíneo cambia de lugar y, al continuar el movimiento, se aleja cada vez más del punto de donde había partido y de todos los lugares por los cuales pasa sucesivamente. Si éste fuera el movimiento que le conviene naturalmente, entonces en el principio no estaba en su lugar apropiado. Por consiguiente, las partes del mundo no estaban dispuestas en un orden perfecto. Pero hemos asumido que estaban perfectamente ordenadas; y en este caso, es imposible que estén determinadas por su naturaleza a cambiar de lugar y consecuentemente, a moverse en línea recta"³²⁷.

Más adelante, Galileo dice, explícitamente, que: "...es imposible que algo pueda tener, por naturaleza, el principio de moverse en línea recta..."³²⁸

La concepción galileana del movimiento, vinculada íntimamente con la descripción de los cuerpos provistos de peso, se restringe a la descripción de los cómo del movimiento sin preocuparse por las causas del mismo. Galileo nunca se pregunta por el origen de la gravedad, pues el propósito de buscar causas se encuentra, conscientemente, fuera de su línea de investigación, lo cual es evidente cuando en los *Discorsi* afirma:

"No me parece éste el momento más oportuno para investigar la causa de la aceleración del movimiento natural y en torno a la cual algunos filósofos han proferido distintas opiniones. Algunos lo han explicado por la proximidad al centro; otros por la disminución de la parte del medio que queda por atravesar; otros, finalmente, por cierta impulsión del medio ambiente, el cual, al volver a cerrarse por detrás del móvil, lo va presionando y proyectando continuamente. Tales fantasías, aparte de otras muchas, habría que ir las examinando y resolviendo con bien poco provecho"³²⁹.

³²⁷ Galilei, G., (1967), p. 19.

³²⁸ ibíd., p. 19.

En la misma obra, Galileo explica que si "... suponemos que Dios ha creado, por ejemplo, el planeta Júpiter para el que Él ha determinado una velocidad dada con la que se moverá de manera uniforme, perpetuamente, podemos decir, con Platón, que en el comienzo Él le dio un movimiento rectilíneo y acelerado; y después, cuando llegó al grado de velocidad, convirtió su movimiento rectilíneo en movimiento circular cuya rapidez era naturalmente uniforme". (Galilei, G., (1967), p. 21).

³²⁹ Galilei, G., (1981a), p. 284.

Entre las causas fantásticas que le parecen "... completamente repugnantes..." (Galilei, G., (1967), p. 445) a Galileo, está la explicación de que las mareas se deben a las atracciones del Sol y la Luna. Al referirse a los defensores de esta tesis señala que "Entre todos los grandes hombres que han filosofado acerca de este notable efecto, estoy más asombrado de Kepler que de

En la física galileana, en la cinemática de los graves, se da, paradójicamente, la coincidencia entre el triunfo en la construcción de un nuevo concepto de movimiento y los límites discursivos que impone la descripción del movimiento sin apelar a las causas del mismo. En adelante, nadie podrá ignorar los planteamientos galileanos, pero es necesario trascenderlos. Galileo ha abierto una gran puerta, pero al toparse con la siguiente, la ha considerado una fantasía que reditúa poco provecho, pero por la puerta que ha abierto pasarán Descartes, Huygens, Leibniz y Newton, ya que, como señala Koyré³³⁰, la obra galileana ha cambiado, bruscamente, la atmósfera intelectual, de forma tal que ya no "... se trata de hacer la crítica de la física aristotélica, de analizar sus fundamentos, sus fallos, sus contradicciones... la física tradicional está muerta. E incluso enterrada. No hay que ocuparse más de ella. Lo que hay que hacer... es reemplazarla. Es fundar y desarrollar una nueva física -la verdadera- y presentarnos una imagen del mundo, es decir, en particular, una nueva concepción de la materia y una nueva concepción del movimiento"³³¹.

El primer intento relevante por construir una nueva ciencia del movimiento está representado por Descartes (1596-1650), que aunque no va a ser un seguidor de la TI galileana, sino que va a construir una nueva TI, no puede ignorar los problemas empíricos que resuelve la cinemática de Galileo.

En la TI cartesiana, la pretensión es la de reconstruir el mundo, planteando la primacía en la búsqueda de las causas que sean responsables de los efectos observados, y no a la inversa. En la física cartesiana no cabe la pregunta galileana acerca del modo de acción seguido efectivamente por la naturaleza, sino el modo de acción que debe seguir la naturaleza. En este sentido, la búsqueda de Descartes es la búsqueda de las leyes que Dios ha impuesto a la naturaleza y que, de alguna manera, son consustanciales a ella.

El planteamiento cartesiano se asume como una nueva filosofía de la naturaleza, una filosofía mecánica cuyo objetivo no es el de construir una ciencia cuantitativa del movimiento, sino plantear mecanismos causales que den cuenta del mismo, ejerciendo una gran influencia no tanto por el tratamiento riguroso de problemas específicos (como Galileo) sino por la determinación de preguntas relevantes y por sus aportaciones al lenguaje conceptual.

Al igual que Galileo, para Descartes no existen diferencias entre los movimientos y todos deben ser tratados de la misma manera, existiendo una explícita identificación ontológica entre movimiento y reposo.

cualquier otro. A pesar de su mente abierta y aguda... prestó oídos y razón al dominio de la luna sobre las aguas, a las propiedades ocultas y a puerilidades tales". (Galilei, G., (1967), p. 462).

³³⁰ cfr. Koyré, A., (1981), pp. 305-306.

³³¹ Koyré, A., (1981), p. 305.

En *Le Monde ou Traité de la Lumière*³³², Descartes plantea tres leyes "... mediante las cuales se hace necesario pensar que Dios hace actuar a la naturaleza..."³³³, que a la letra dicen:

"La primera es que toda parte de la materia, individualmente, continúa siempre existiendo en un mismo estado, mientras el encuentro con las otras no la obligue a cambiarlo... si ha comenzado a moverse, continuará haciéndolo con la misma fuerza y hasta que las otras la detengan o la retrasen"³³⁴.

"Supongo como segunda regla que cuando un cuerpo empuja a otro, no podría darle ningún movimiento si no perdiera al mismo tiempo proporcionalmente el suyo, ni quitárselo sin que el suyo aumente otro tanto"³³⁵.

"Agregaría en la tercera que mientras que un cuerpo se mueve, aunque su movimiento se dé a menudo en línea curva, y que no se puede jamás hacer ninguno que no sea en alguna forma circular... de cualquier modo cada una de sus partes individualmente, tiende siempre a continuar el suyo en línea recta"³³⁶.

En estas tres leyes se plasman las aportaciones centrales de la ciencia del movimiento de Descartes, que son, por un lado, en la primera y la tercera, el planteamiento relativo a la inercia, y por otro lado, en la segunda, la idea de la conservación de la cantidad de movimiento.

Con respecto a la inercia, en sus *Principia Philosophiae* (1644), las dos primeras leyes son aún más claras que en *Le Monde*, al señalar que:

"Cada cosa se mantiene en el estado en el que se encuentra, mientras nada cambie"³³⁷.

"Cada cuerpo en movimiento, tiende a conservar su movimiento en línea recta"³³⁸.

Es evidente que la ley de la inercia newtoniana es el resultado de fusionar los dos planteamientos cartesianos, el de permanencia en un estado si éste no es alterado externamente y el relativo a la conservación del movimiento rectilíneo³³⁹.

³³² *Le Monde ou Traité de la Lumière* se publicó, póstumamente, hasta 1677.

³³³ Descartes, R., (1986), p. 84.

³³⁴ ibíd., p. 84. El subrayado es mío.

³³⁵ ibíd., p. 86.

Más adelante, señala Descartes que "... estas dos reglas se siguen manifiestamente, de esto sólo, que Dios es inmutable, y que al actuar siempre del mismo modo produce siempre el mismo efecto". (Descartes, R., (1986), p. 88).

³³⁶ ibíd., p. 89.

Al igual que en las dos primeras, la tercera regla (ley) "... se apoya en el mismo fundamento que las otras dos y no depende sino de que Dios conserva cada cosa por medio de una acción continuada...". (Descartes, R., (1986), p. 89).

Más adelante Descartes señala que "... es necesario decir que sólo Dios es el autor de todos los movimientos que hay en el mundo en tanto existan y en tanto sean rectos, pero que son las diversas disposiciones de la materia las que los tornan irregulares y curvos". (Descartes, R., (1986), p. 90).

³³⁷ En Westfall, R.S., (1971), p. 58.

³³⁸ En Westfall, R.S., (1971), p. 59.

Por otra parte, la segunda regla (ley) de *Le Monde*, plantea que todos los cambios de movimiento son debidos a choques entre las partículas de materia, que intercambian eternamente su movimiento³⁴⁰. Para Descartes, Dios ha "... puesto cierta cantidad de movimiento en toda la materia en general desde el primer momento en que la creó..." y "... es necesario reconocer que la conserva siempre igual..."³⁴¹.

En este sentido, el agente causal para el cambio de movimiento es el impacto y la física cartesiana se basa en la conservación de la cantidad de movimiento.

Dado que el concepto de cantidad de movimiento es utilizado hoy en día³⁴² para referirse al producto de la masa por la velocidad, es importante señalar que aunque, efectivamente, el concepto cartesiano es un obvio antecedente del concepto moderno, Descartes no se refería estrictamente a lo mismo, ya que, por un lado, Descartes nunca planteó el concepto de masa y su referente es la extensión³⁴³ y por otro lado, su consideración con respecto a la velocidad es, en

³³⁹ Curiosamente, Newton le asignó la paternidad del concepto de inercia a Galileo, sin hacer referencia alguna a Descartes. Es absurdo creer que Newton, autor de los *Principia*, no conocía los *Principia* de Descartes.

³⁴⁰ En los *Principia Philosophiae*, la tercera regla (ley) plantea que "... si un cuerpo en movimiento choca con otro más fuerte que el mismo, no pierde nada de su movimiento y si choca con uno más débil que puede moverse, pierde tanto de su movimiento como le cede al otro". (En Westfall, R.S., (1971), p. 83).

³⁴¹ Descartes, R., (1986), p. 88.

A diferencia del Dios cartesiano, que puso una cantidad de movimiento en el mundo, la cual se conserva, el Dios newtoniano deberá actuar perpetuamente para "... conservar el movimiento..." ya que "... de las diversas maneras de componerse dos movimientos se desprende con toda certeza que no hay siempre la misma cantidad de movimiento en el mundo". (Newton, I., (1977), p. 343).

³⁴² En los textos de física actuales se encuentra que, en inglés, se utiliza el término *linear momentum*, como por ejemplo en *Fundamental University Physics* (1969) de Alonso y Finn y en *Physics* (1977) de Halliday y Resnick. En las traducciones al español se encuentra que en las hechas en España se utiliza el término cantidad de movimiento, como por ejemplo en *Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas* (1966) de Ingard y Kraushaar y en *Física* (1962) (traducción del *Physical Science Study Committee*), mientras que en las traducciones mexicanas es cada vez más frecuente la utilización del término ímpetu, como ocurre en *Física* (1983) de Halliday y Resnick, pudiendo encontrarse casos como el de la *Física* (1992) de Serway en el que se utiliza momento lineal pero aparecen, en el índice, ímpetu y cantidad de movimiento como sinónimos de momento lineal.

En la comunidad de los físicos mexicanos, el uso mayoritario se inclina hacia la palabra ímpetu, la cual fue acuñada por el maestro Juan de Oyarzábal, en obvia referencia al *impetus* medieval.

³⁴³ A decir de Jammer, para Descartes, el volumen es la medida de la cantidad de materia sin tomar en consideración, como Newton a la densidad. Desde su perspectiva es "... difícil ver como Descartes pudo haber ignorado el hecho de que dos cuerpos geoméricamente equivalentes, como una esfera sólida y una hueca de radio igual, se mueven de manera diferente cuando se encuentran en relaciones idénticas con los mismos cuerpos". (Jammer, M., (1961), p. 61). Otros autores, como Benítez, han planteado que la identificación cartesiana entre materia y extensión es problemática y suscitó, desde la época de Descartes, diversas críticas, incluso opuestas. Esta

lenguaje moderno, entendiéndola a ésta no como una cantidad vectorial, sino como un escalar, de manera que Descartes entiende a la cantidad de movimiento como el producto de la extensión por la rapidez, de forma tal que la cantidad de movimiento de la física cartesiana es, a su vez, una cantidad escalar y no vectorial, como se entiende modernamente.

En el desarrollo de su física, Descartes apela a términos como acción o agitación que nunca define con absoluta claridad, siendo el problema de imprecisión en las definiciones conceptuales uno de los mayores problemas en esta historia que conduce a la dinámica newtoniana. Incluso, en algunos pasajes, Descartes habla de fuerza, pero nunca entendida en el sentido de causa del movimiento sino, a lo más, en el de la fuerza del cuerpo en movimiento³⁴⁴ o como señala Westfall, refiriéndose a Descartes:

"Fuerza es la capacidad de actuar de un cuerpo en movimiento"³⁴⁵.

No obstante que los proyectos galileano y cartesiano dan la impresión de que divergen en sus metas, ambos convergen en la negación de la existencia de causas ocultas y en su incapacidad de plantear las causas del movimiento.

El planteamiento cartesiano, no obstante sus extraordinarios logros, no llega nunca a constituir una dinámica, quedando referido, al igual que Galileo, a problemas cinemáticos.

Al mediar el siglo XVII³⁴⁶, nos encontramos con dos TI³⁴⁷ claramente establecidas que propugnan, por un lado, por la matematización de la naturaleza (Galileo) y por el otro por la construcción de una Filosofía Mecánica (Descartes), habiendo sido ambas incapaces de construir una dinámica. En palabras de Westfall:

"Hasta que se encontró una manera de reconciliar los motivos del conflicto, no pudo emerger una dinámica consistente"³⁴⁸.

autora reconoce que Descartes "... identifica la materia con la extensión y que la materia es un todo homogéneo, puesto que no hay, estrictamente hablando, diferentes naturalezas materiales..." (Benítez, L., (1993), p. 109), pero aclara que hay que distinguir en la propuesta cartesiana el plano geométrico-matemático del plano físico. En lo que al plano físico se refiere "... Descartes parte de este concepto general abstracto de materia, consistente pero meramente posible, y a base de descripciones limitativas que se encuentran particularmente en su teoría de los elementos, va restringiendo esta noción hasta ajustarlo a lo que considera que es el mundo físico real". (Benítez, L., (1993), p. 111).

³⁴⁴ Como se puede observar en el subrayado que hice al referirme a la primera regla (ley).

³⁴⁵ Westfall, R.S., (1971), p. 64.

³⁴⁶ Galileo muere en 1642 y Descartes en 1650.

³⁴⁷ Aunque podría hacerse un esfuerzo por reconciliar, con cierto éxito, el nivel teórico de ambas TI, en lo que no son reconciliables es en los ámbitos metodológico y axiológico.

³⁴⁸ Westfall, R.S., (1971), p. 90.

Evidentemente, la reconciliación a la que hace referencia Westfall, no se puede dar a través de la victoria de una de las TI en pugna, sino que será necesario que aparezca una nueva TI

El que podría considerarse como el mejor intento de reconciliación, aunque claramente cargado hacia la TI cartesiana, es el representado por Christiaan Huygens (1629-1695). El primer problema que le preocupó a Huygens, profundamente influenciado por Descartes, fue el relativo al impacto. En su primer tratamiento de este problema (1652), Huygens plantea que:

"Si dos cuerpos iguales, perfectamente duros y que se mueven con igual rapidez en direcciones opuestas, chocan uno con el otro, cada uno de ellos será reflejado sin pérdida alguna de su rapidez"³⁴⁹.

Agregando un axioma, en el que señala que:

"La misma fuerza que le da una cierta velocidad a un cuerpo en reposo, es capaz de conferir la mitad de dicha rapidez a un cuerpo que sea el doble del otro"³⁵⁰.

La primera cita es una premisa tomada directamente de Descartes, pero en la segunda, Huygens está, prácticamente, arribando al concepto de fuerza.

La evolución de la teoría del impacto se produce por la influencia que tiene Galileo en el esquema cartesiano de Huygens, ya que para establecer la identidad de todos los casos de colisiones entre cuerpos iguales, apela a la idea de que el espacio en el que se dan las colisiones se mueve con velocidad uniforme³⁵¹, de forma tal que ajustando dicha velocidad, todas las colisiones puedan ser observadas por un observador externo, como el impacto entre cuerpos iguales con velocidades iguales y opuestas. Huygens está apelando al principio de relatividad de movimientos de Galileo, lo que le permite corregir las reglas del impacto de Descartes, a través de un proceso lógico extremadamente riguroso. De hecho, Huygens demuestra que tanto las leyes del impacto como el principio de conservación de la cantidad de movimiento de Descartes están mal y dado que el movimiento es relativo, variando de acuerdo al marco de referencia, la cantidad de movimiento también tiene que considerarse como relativa, dependiendo del marco de referencia.

En *De Motu Corporum ex Percussione*³⁵², Huygens empieza con tres hipótesis. En la primera de ellas enuncia que:

"Una vez que un cuerpo ha sido puesto en movimiento, si nada se le opone, continuará este movimiento con la misma rapidez en una línea recta"³⁵³.

capaz de apropiarse (en el sentido laudiano) de algunas de las teorías pertenecientes a dichas tradiciones. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 92-95).

³⁴⁹ En Westfall, R.S., (1971), p. 148.

³⁵⁰ En Westfall, R.S., (1971), p. 149. El subrayado es mío.

³⁵¹ Huygens lo explica, planteando el caso de un navío en el que se darán las colisiones, siendo el observador externo el que se encuentra en tierra.

³⁵² *De Motu Corporum ex Percussione* fue redactado en 1656, pero fue publicado, póstumamente, en 1703.

En esta hipótesis se plantea, con absoluta claridad, el principio de inercia, fusionando, en una sola, las dos leyes de Descartes.

Las otras dos hipótesis se refieren a la simetría del caso de colisiones entre cuerpos iguales con velocidades opuestas y al principio de relatividad del movimiento.

Con estas tres hipótesis, Huygens puede describir todas las colisiones entre cuerpos iguales.

En el análisis de Huygens, emerge un concepto fundamental, el de centro de gravedad, según el cual los dos cuerpos que intervienen en una colisión, pueden ser considerados como uno solo concentrado en dicho centro de gravedad, el cual tiene la propiedad de no cambiar, ya que:

"Se debe notar que, de acuerdo con lo que he dicho, el centro de gravedad de los cuerpos continúa siempre con un movimiento uniforme en la misma dirección sin ser perturbado por cualesquiera impacto de los cuerpos"³⁵⁴.

De lo anterior se desprende que Huygens convierte el problema del impacto entre dos cuerpos, en un problema equivalente a los resueltos por medio de la cinemática galileana, en los que el marco de referencia referido al centro de gravedad es el ideal para el tratamiento cinemático.

Con respecto a la cantidad de movimiento, ésta sigue operando a la Descartes, como una cantidad escalar y no existe el concepto de masa, pues Huygens habla de magnitud de los cuerpos.

Para el tratamiento de cuerpos desiguales, Huygens introduce dos hipótesis adicionales, relativas a que el cuerpo mayor comunica al menor parte del movimiento, con la consecuente pérdida propia y que cuando un cuerpo en impacto conserva todo su movimiento, el otro ni gana ni pierde. Este último axioma le permite atacar el caso de cuerpos desiguales, en los que la rapidez de cada uno de ellos es inversamente proporcional a su magnitud respectiva y en el que cada uno conserva su movimiento original. Huygens es muy cuidadoso de ponerlo en estos términos, ya que lo que está planteando es que el movimiento se mantiene y que simplemente cambia de dirección.

El deliberado abandono, por parte de Huygens, de las consideraciones dinámicas del impacto, que lo recluye en análisis cinemáticos, le permite emparentar, con absoluta naturalidad, el fenómeno del impacto con el de caída libre, de forma tal que arriba a un nuevo principio de conservación. En palabras de Huygens:

³⁵³ En Barbour, J.B., (1989), p. 462.

³⁵⁴ En Westfall, R.S., (1971), p. 153.

"Cuando dos cuerpos chocan uno con otro, la cantidad obtenida sumando los productos de las magnitudes de los cuerpos individuales multiplicados por los cuadrados de sus velocidades, se ha encontrado que será el mismo antes y después del impacto"³⁵⁵.

Esta cantidad, obviamente no es constante para todos los marcos de referencia, sino que es constante en cada marco de referencia y, para Huygens, no tiene un sentido físico específico; es, simplemente, un número que se obtiene de una fórmula cinemática, pero que no tiene ningún significado especial.

Adicionalmente al problema del impacto, Huygens se dedicó a analizar la problemática relativa a los péndulos³⁵⁶ y el movimiento circular.

En el análisis del movimiento circular, Huygens planteó el concepto de conato (*conatus*), relacionado con el empeño de los cuerpos, de forma tal que, por ejemplo, la gravedad representaría este empeño de los cuerpos por descender. Este conato, que en otros lugares denomina incitación, pareciera ser que está llevando a Huygens a la definición de fuerza, entendida ésta como la acción que se ejerce sobre el cuerpo, lo cual parece aún más evidente en el planteamiento de la fuerza centrífuga (*vis centrifuga*).

Para Huygens, un cuerpo se moverá en un círculo únicamente si se le constriñe a hacerlo, pues la tendencia de los cuerpos es a alejarse del centro, siendo esta propensión lo que denomina fuerza centrífuga. Una vez más, la posición de Huygens lo aleja de los análisis dinámicos, pues fija su atención en la inclinación del cuerpo a alejarse y no en la constricción que lo mantiene en el movimiento circular. La fuerza centrífuga no es una fuerza actuante sino una propensión del cuerpo.

Irónicamente, dado que tampoco el peso es una fuerza actuante sino que representa también una tendencia, Huygens plantea la relación entre el peso y la fuerza centrífuga, lo cual le permite, utilizando las ecuaciones cinemáticas de Galileo, calcular la fuerza centrífuga, que es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, e inversamente proporcional al radio de la trayectoria circular³⁵⁷.

³⁵⁵ En Westfall, R.S., (1971), p. 157.

En terminología moderna y aceptando el anacronismo de llamar m a la magnitud a la que hace referencia, lo que tendríamos es la conservación de mv^2 , en la que un lector moderno reconocería, introduciendo el factor $1/2$, a la energía cinética, pero cuidado, esto no quiere decir que Huygens viera algo parecido a nuestro moderno concepto de energía.

³⁵⁶ En sus investigaciones acerca de los péndulos, a las que no haré referencia en este trabajo, la metodología de Huygens será la misma, restringiendo sus análisis al carácter cinemático del fenómeno.

³⁵⁷ En un sentido actual, podríamos decir que la fuerza centrífuga es mv^2/r , pero siempre con la reserva derivada de que, aunque Huygens se percató de que el "... peso es proporcional a la cantidad de materia..." (En Westfall, R.S., (1971), p. 182), lo cual lo acerca al concepto de masa de Newton, en realidad en la obra de Huygens no hay una distinción muy clara.

El caso de Huygens es muy llamativo, pues es evidente que tuvo todos los elementos para la elaboración de una dinámica consistente, pero les dio sistemáticamente la vuelta para recluirse en conceptualizaciones cinemáticas.

Las metas de la TI cartesiana a la que indiscutiblemente pertenece Huygens, le impiden dar el salto para el que, en principio, estaba preparado.

En evidente continuidad con la obra de Huygens, se encuentran los planteamientos hechos por Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), que es el creador de la palabra dinámica, la cual empleó en el título de dos de sus obras: *Essay de dynamique* (1692) y *Specimen dynamicum* (1695).

El interés de Leibniz por la mecánica lo llevó a publicar, en 1686, en las *Acta Eruditorum, Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem*, en el que plantea que Descartes cometió un "error memorable" al identificar a la cantidad de movimiento con la fuerza. Para Leibniz, la correcta medida de la fuerza es mv^2 , el número encontrado por Huygens, pero que en Leibniz adquiere el papel central de la descripción dinámica. A esta cantidad la denomina fuerza viva (*vis viva*), para diferenciarla de las fuerzas muertas que son las que pertenecen a los casos de la estática.

La separación entre estática y dinámica es, a decir de Westfall³⁵⁸, el elemento central para el nacimiento de la dinámica.

Siguiendo los pasos de Huygens, Leibniz analiza el problema del impacto y llega a la conservación del *momentum*, que se diferencia de la conservación de la cantidad de movimiento, por el carácter vectorial (en terminología moderna) que le asigna al mismo.

En su elaboración sobre el impacto, Leibniz translada la cinemática de cuerpos perfectamente duros (Huygens) a la dinámica de cuerpos perfectamente elásticos, en los que la conservación del *momentum* y de la *vis viva*, recae en el reconocimiento de la acción dinámica del impacto mismo.

Al analizar impactos imperfectos, Leibniz se acerca extraordinariamente a lo que hoy denominaríamos principio de conservación de la energía al señalar:

"Pero esta pérdida de fuerza total... no destruye la verdad inviolable de la ley de la conservación de la fuerza en el mundo. Porque lo que es absorbido por las partes mínimas no es absolutamente perdida por el universo, aunque es perdido por la fuerza total de los cuerpos concurrentes"³⁵⁹.

Evidentemente, la dinámica leibniziana no se basa en el concepto newtoniano de fuerza sino, de alguna manera, en lo que hoy denominamos

³⁵⁸ cfr. Westfall, R.S., (1971), pp. 286-287.

³⁵⁹ En Westfall, R.S., (1971), p. 295.

energía y en ese sentido, la *vis viva* es algo que, asociado con su movimiento, tiene el cuerpo, rechazando la idea de que algo externo pueda alterar la ley que gobierna al cuerpo.

El concepto de fuerza, a la Newton, está prefigurado en lo que Leibniz denomina fuerza muerta, poniendo como ejemplos de ella a la gravedad, la fuerza centrífuga y la fuerza centrípeta, pero dado que las fuerzas muertas representan sólo un momento en la serie que define la ley del cuerpo, Leibniz la restringe a los casos estáticos y enfoca su interés únicamente en las fuerzas vivas³⁶⁰.

Los problemas de Leibniz empiezan cuando, una vez más, siguiendo la senda de Huygens, ataca el fenómeno del movimiento circular, pues éste, viéndolo en sentido moderno, involucra la acción continua de fuerzas, pero sin cambio en la energía cinética. El movimiento circular es un movimiento acelerado pero sin cambios en la *vis viva*.

El movimiento circular representa el fracaso de la dinámica leibniziana, al ser incapaz de confrontar el problema central de la mecánica racional del siglo XVII.

El caso de Leibniz muestra cómo la nueva concepción del movimiento, debida fundamentalmente a Galileo y Descartes, posibilita la formulación de una dinámica, pero no la predetermina.

Dos casos peculiares de esta evolución cognoscitiva, pero no vinculados a los desarrollos de la física terrestre sino al de la física celeste, son los representados por Johannes Kepler (1571-1630) y Robert Hooke (1635-1703).

El caso de Kepler es llamativo pues él se propone la construcción de una dinámica celeste que, además de la descripción de los movimientos planetarios, por medio de las hoy denominadas tres leyes, dé cuenta de la causa de dichos movimientos. Ya desde su primera obra, *Mysterium cosmographicum* (1596)³⁶¹, la preocupación de Kepler por la causa de los movimientos planetarios está presente, cuando señala que:

"Pero si, no obstante, quisiéramos aproximarnos aún más a la verdad y tener expectativas respecto a alguna igualdad de las proporciones, será preciso establecer una de dos: o que las almas motrices son más débiles cuanto más

³⁶⁰ A decir de Leibniz, en *Specimen Dynamicum*: "La fuerza es de dos tipos: la primera, la cual llamo fuerza muerta, porque el movimiento todavía no existe... y hay solamente una solicitud al movimiento... la otra es la fuerza ordinaria combinada con el movimiento actual, la cual llamo fuerza viva. Un ejemplo de fuerza muerta es la fuerza centrífuga, y de manera semejante la fuerza de gravedad o la fuerza centrípeta... Pero en los impactos... la fuerza viva procede de un número infinito de continuas impresiones de fuerza muerta". (En Westfall, R.S., (1971), p. 299).

³⁶¹ Obra en la que Kepler desentraña, a decir de él, el misterio relativo a la estructura del Cosmos, a través de los cinco sólidos perfectos.

lejos se hallan del Sol, o bien que sólo hay un alma motriz³⁶² en el centro de todos los orbes, esto es en el Sol, que empuja más fuertemente a un cuerpo cuanto más próximo se halle, mientras que para los lejanos, debido a la distancia y al debilitamiento de su fuerza, como si languideciera. Pues tal y como ocurre con la fuente de luz en el Sol, y el origen está en el lugar del Sol, esto es, en el centro, así aquí la vida, el movimiento y el alma del mundo residen en el mismo Sol... Y por eso ahora con mucho más derecho corresponden al Sol aquellos nobles epítetos de Corazón del Mundo, Rey, Emperador de las estrellas, Dios visible, y otros más...

Por tanto, supongamos, y es cosa bien plausible, que el Sol proporciona movimiento en la misma razón en que proporciona luz"³⁶³.

En el *Mysterium cosmographicum*, el joven Kepler, al preguntarse por la causa de los movimientos, plantea la disyuntiva entre que los planetas tengan sus almas motrices o que sea el Sol la verdadera y única alma motriz responsable de los movimientos. Cuando veinticinco años después (1621), apareció la segunda edición del *Mysterium cosmographicum*, Kepler decidió no cambiar nada de la edición original, "... pero allí donde se precisa alguna corrección o alguna aclaración o algún perfeccionamiento se introduce mediante comentario en tipografía diferente"³⁶⁴.

En particular, en relación con el párrafo señalado con anterioridad, en los comentarios señala, con respecto a la primera opción:

"Almas motrices. De las que he demostrado que no hay ninguna en los Comentarios sobre Marte"³⁶⁵.

Y con respecto a la segunda:

"Sólo hay un alma motriz. Si sustituyes la palabra <<alma>> por la palabra <<fuerza>>³⁶⁶, obtendrás el mismísimo principio sobre el que se halla construida la Física Celeste en el Comentario sobre Marte y elaborado en el libro IV del *Epitome de Astronomía*³⁶⁷. Pues entonces yo creía absolutamente que la causa que movía a los planetas era un alma... Pero cuando consideré que esta causa motriz se debilitaba con la distancia y que la luz del Sol también se atenuaba con la distancia, concluí de ello que esta fuerza es algo corporal, si no propiamente, al menos equívocamente; tal y como decimos de la luz que es algo

³⁶² *Anima motrix* en el original.

³⁶³ Kepler, J., (1992), pp. 193-194. El subrayado es mío.

³⁶⁴ *ibíd.*, p. 48.

³⁶⁵ *ibíd.*, p. 196.

Comentario sobre Marte se refiere a la *Astronomía nova* (1609) en la que plantea sus dos primeras leyes.

³⁶⁶ *Vis* en el original.

³⁶⁷ Se refiere al *Epitome astronomiae Copernicanae*.

corporal, esto es, una emisión procedente de un cuerpo, aunque desmaterializada³⁶⁸.

La concepción de una fuerza que emana del Sol es desarrollada por Kepler en su *Astronomía nova*³⁶⁹, en la que el Sol opera como una especie de escoba que barre a los planetas y los hace avanzar, venciendo la pereza o inercia³⁷⁰ (como él la llama) de los planetas, que se oponen a moverse y se resisten a la fuerza que emana del Sol. Para poder explicar esta acción del Sol, Kepler aventuró que el Sol giraba en torno a su propio eje lo cual, curiosamente, se demostró como cierto varios años después.

En una etapa ulterior de sus especulaciones, supuso que los planetas eran centros magnéticos, cuyo eje magnético apuntaba siempre en una dirección y su atracción o rechazo al Sol se debía al polo magnético que presentaban al Sol³⁷¹.

No obstante que la dinámica celeste de Kepler es totalmente especulativa y difícilmente matematizable, hay que reconocer la gran aportación de Kepler al ubicar el problema de la astronomía copernicana en el lugar en que podía resolverse finalmente, en la construcción de una dinámica celeste, consecuente con la dinámica terrestre que, como señalé con anterioridad, estaba por construirse.

Un caso que podría considerarse como menor, pero que es relevante para la comprensión de la TI newtoniana, es el representado por Robert Hooke, el cual

³⁶⁸ Kepler, J., (1992), p. 196.

La evolución de Kepler, del *anima motrix* a la *vis*, representa una auténtica metáfora de las transformaciones conceptuales animistas a las mecánicas, en los siglos XVI y XVII.

³⁶⁹ En la introducción de la *Astronomía nova*, Kepler plantea una idea diferente a la que sostendría en el resto del libro, al señalar que:

"La gravedad es la tendencia de cuerpos afines (es decir materiales) hacia el contacto o la unión (y de este género es también la fuerza magnética), de suerte que la Tierra atrae a una piedra mucho más que lo que la piedra atrae a la Tierra...

Si colocáramos dos piedras en cualquier parte del espacio, una cerca de la otra, fuera del alcance de un tercer cuerpo afín, las piedras se juntarán en un punto intermedio como ocurre con los cuerpos magnéticos, y cada piedra se aproximará a la otra en proporción a la masa de la otra...

Si la Tierra cesara de atraer las aguas del mar, éstas se levantarían y volarían a la Luna.

Si la fuerza de atracción de la Luna llega hasta la Tierra, con tanta mayor razón la fuerza de atracción de la Tierra se extiende hasta la Luna y aún más lejos". (En Koestler, A., (1981), p. 331).

En este sorprendente pasaje, Kepler plantea una concepción gravitacional que contradice su errónea dinámica del *anima motrix* (convertido en *vis*).

En su pequeña narración de ciencia ficción, *Somnium* (1634), nos ofrece otra sorprendente visión gravitacional al narrar el viaje mágico de Duracotus, de la Tierra (Volva) a la Luna (Levania). (cfr. Kepler, J., (1967)).

³⁷⁰ La intuición de que sobre los planetas operan dos fuerzas es francamente cautivadora, no obstante que las funciones de dichas fuerzas están absolutamente trastocadas. La inercia de Kepler es exactamente lo contrario de la inercia newtoniana.

³⁷¹ En 1600, apareció *De magnete*, de William Gilbert (1544-1603), que es la obra pionera acerca del magnetismo. Obviamente esta obra jugó un papel importante en la imaginación creadora de Kepler.

no obstante que prácticamente no elaboró ningún tratado de mecánica, se puede encontrar, en diversas obras, algunos pasajes dedicados a esta disciplina. A partir de ellos es posible concluir que para Hooke la fuerza sigue siendo una propiedad de los cuerpos y en términos generales, en la mayoría de los casos, al referirse a fuerza, lo que planteaba era lo que hoy en día denominaríamos trabajo, ya que la llega a definir como el producto del peso por la distancia. En otros casos sí se refiere a fuerza en el sentido newtoniano, ya que Hooke claramente representa la confusión tanto terminológica como conceptual en relación con las fuerzas. En este sentido, es clarísimo un pasaje de Hooke en el que señala: "... fuerza, presión, empeño, ímpetu, intensidad, gravedad, potencia, movimiento, o como quieran llamarla..."³⁷².

La cita anterior es una clara muestra de la falta de rigor terminológico y conceptual del discurso hookiano, pero que es sintomático pues esta situación estaba muy generalizada y representaba uno de los mayores obstáculos para la construcción de una dinámica consistente y rigurosa.

La aportación de Hooke, que evidentemente no puede ser en el ámbito de la precisión lingüística, se dio en términos de la intuición física que mostró al analizar el problema del movimiento orbital de los planetas. En su análisis de este fenómeno, Hooke invirtió los elementos a los que se debía poner atención y en lugar de preocuparse, como Huygens, por la tendencia de los cuerpos para alejarse del centro, con base en una constricción que los mantiene en la órbita circular, se interesó en la constricción de dicho movimiento.

En su famosa carta³⁷³ a Newton del 24 de noviembre de 1679, Hooke le proponía opinar sobre algunas hipótesis suyas, siendo una de ellas la relativa a la "... composición de los movimientos celestes de un movimiento directo por la tangente y un movimiento atractivo hacia el cuerpo central..."³⁷⁴. Esta brillante idea, de la que Newton asegura, en su respuesta del 28 de noviembre de 1679, no haber oído nunca, había sido planteada por Hooke en las *Cutlerian Lectures* de 1670 y en su *Attempt to prove the motion of the Earth by Observation* (1674), en donde señalaba que en fecha próxima expondría "... un Sistema del Mundo que difiere en varios detalles de todos los conocidos hasta ahora... se halla fundamentado en tres suposiciones. La primera es que todos los cuerpos celestes, sin excepción alguna, tienen una atracción o gravitación hacia su propio centro, gracias a la cual, no sólo atraen sus propias partes e impiden su desintegración, tal como observamos en el caso de la tierra, sino que también

³⁷² En el original: "... force, pressure, indeavour, impetus, strength, gravity, power, motion, or whatever else you will call it... ". (En Westfall, R.S., (1971), p. 208).

³⁷³ La correspondencia entre Hooke y Newton de 1679-1680, puede considerarse el origen de las disquisiciones metódicas de Newton en torno al problema de la gravitación. También en esta relación epistolar está el origen de las pretensiones de reconocimiento por parte de Hooke, en torno a la teoría de la gravitación, pudiendo decirse que es en ellas donde se incuba el gusano de la famosa manzana de Newton. (cfr. Koyré, A., (1952)).

³⁷⁴ Koyré, A., (1952), p. 316.

atraen a todos los demás cuerpos celestes que se hallan bajo su radio de acción. Por consiguiente, no sólo el sol y la luna ejercen influencia sobre el cuerpo y el movimiento terrestres, influencia que se manifiesta de forma recíproca, sino que también Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno ejercen una considerable influencia sobre el movimiento de la tierra en virtud de su fuerza atractiva, del mismo modo que el correspondiente poder atractivo de la tierra tiene una influencia considerable sobre el movimiento de estos planetas. La segunda suposición es que, todos los cuerpos que han recibido un movimiento simple y directo continúan moviéndose en línea recta, hasta que por la intervención de alguna otra fuerza efectiva son desviados y obligados a describir un círculo, una elipse o cualquier otra curva más complicada. La tercera suposición es que estas fuerzas atractivas son tanto más poderosas en su acción cuanto más próximas a sus centros está situado el cuerpo sobre el que actúan"³⁷⁵.

Adicionalmente, en la carta del 6 de enero de 1680, Hooke le dice a Newton que "... mi suposición es que la atracción siempre está, recíprocamente, en proporción duplicada al centro..."³⁷⁶. Este planteamiento, lo obtuvo Hooke de la tercera ley de Kepler³⁷⁷ y como Hooke mismo le dice a Newton, en su carta del 17 de enero de 1680:

"Ahora queda por conocer la propiedad de una curva (no circular, no concéntrica) hecha por un poder atractivo central el cual hace que las velocidades de caída desde la línea tangente de movimiento rectilíneo a cualquier distancia estén en una proporción duplicada de las distancias tomadas recíprocamente. No dudo que por su excelente método, pueda encontrar fácilmente qué curva debe ser, y sus propiedades, y sugerir una razón física para esta proporción"³⁷⁸.

La suerte estaba echada. Efectivamente, Newton calculó la curva y planteó una razón física de la misma. Desafortunadamente para Hooke, Newton no dijo ni una palabra acerca de él.

De los planteamientos de Galileo, Kepler, Descartes, Huygens, Leibniz y Hooke³⁷⁹, se desprende la necesidad de construir una dinámica, consistente con la cinemática galileana, que aclare, lingüística y conceptualmente, el concepto de fuerza, entendido éste como causa del movimiento, permitiendo la solución de la infinidad de problemas empíricos (tanto de la física terrestre como de la celeste) que se desprenden de la solución definitiva de los tres grandes problemas mecánicos de la época: la caída libre, el impacto y el movimiento circular.

³⁷⁵ En Kuhn, T.S., (1978), pp. 234-235.

³⁷⁶ En Koyré, A., (1952), p. 332.

³⁷⁷ Curiosamente, en su utilización de Kepler, Hooke cargó con el famoso error kepleriano de considerar a la velocidad como inversamente proporcional a la distancia.

³⁷⁸ En Koyré, A., (1952), p. 337.

³⁷⁹ En un listado completo de las aportaciones a la mecánica a lo largo del siglo XVII, habría que agregar a Gassendi, Borelli, Torricelli, Wallis y otros menos relevantes.

Los *Principia* de Newton representarán la solución a esta compleja problemática. La dinámica newtoniana es construida, atacando de entrada al primer gran problema conceptual, relativo a la incertidumbre y la imprecisión en la terminología utilizada.

Los *Principia* empiezan con un conjunto de definiciones que aclaran en qué sentido se van a usar los términos básicos a lo largo de toda la obra.

En la Definición I, Newton plantea que:

"La cantidad de materia es la medida de la misma, surgida de su densidad y magnitud conjuntamente"³⁸⁰.

Agregando, en el comentario (o elaboración) a la definición que:

"Es esa cantidad la que en lo sucesivo menciono bajo el nombre de masa o cuerpo. Lo mismo se da a conocer mediante el peso de cada cuerpo pues la masa es proporcional al peso, como he descubierto por experimentos muy precisos con péndulos..."³⁸¹.

No obstante lo insatisfactoria que es esta definición de masa, a decir de Mach³⁸², ya que se basa en la densidad (y el volumen), la cual a su vez no ha sido definida, lo relevante de ella, radica en el hecho de diferenciar, explícitamente, los conceptos de masa y peso.

Con esta simple definición, Newton ha abandonado por completo la cinemática de los graves galileana para sustituirla por una dinámica general.

En la Definición II se plantea que:

³⁸⁰ Newton, I., (1982), p. 223.

En terminología moderna $m=\rho V$, donde m es la masa, V el volumen y ρ la densidad.

³⁸¹ ibíd., p. 223. El subrayado es mío.

Como ha hecho notar Chandrasekhar con respecto a este comentario (o elaboración) a la Definición I, "... la distinción que se hace aquí es entre masa inercial (m_i) y masa gravitacional (m_g). Por masa Newton entiende la masa inercial m_i y por peso él entiende $g \times m_g$ donde m_g denota la masa gravitacional y g el valor de la gravedad..." (Chandrasekhar, S., (1995), p. 18).

Los experimentos con péndulos a los que hace referencia Newton, son planteados en el Libro II, Sección VI, Proposición XXIV. Teorema XIX. (cfr. Newton, I., (1982), pp. 553-554).

³⁸² Para Mach, "... la formulación dada por Newton, según la cual la masa es el producto del volumen por la densidad de una determinada cantidad de materia de un cuerpo, no es feliz. El círculo vicioso es evidente, pues no puede definirse la densidad sino como la masa en la unidad de volumen. Newton sintió que todo cuerpo llevaba consigo una característica determinante del movimiento que era diferente de su peso, y que con él llamaremos masa, más no logró expresar correctamente este conocimiento". (Mach, E., (1949), p. 166).

Como indicio de que el mismo Newton debía tener conciencia de lo insatisfactorio de su definición de masa en términos de la densidad, baste observar que en el Libro III. Proposición VI. Teorema VI. Corolario IV, señala:

"Al decir cuerpos de la misma densidad me refiero a aquellos cuyas inercias son proporcionales a sus volúmenes". (Newton, I., (1982), p. 676). La circularidad de la definición es evidente.

"La cantidad de movimiento es la medida del mismo, surgida de la velocidad y la cantidad de materia"³⁸³.

Esta definición es, aparentemente, igual a la planteada por Descartes, diferenciándose de ella en el hecho de que Newton sí habla de masa y la velocidad es considerada, como se verá más adelante, no como un escalar, sino como una cantidad, que en lenguaje moderno denominaríamos como vectorial. De lo anterior se desprende que, para Newton, la cantidad de movimiento es vectorial y no escalar como lo es en Descartes.

La Definición III plantea que:

"La fuerza insita³⁸⁴, o fuerza innata de la materia, es un poder de resistencia, por medio del cual todo cuerpo, en tanto que permanece, continúa en su estado presente ya sea de reposo o de movimiento uniforme en una línea recta"³⁸⁵.

Para agregar, en el comentario (o elaboración) que:

"Esta fuerza es siempre proporcional a su cuerpo y sólo difiere de la inactividad de la masa por el modo de concebirla"³⁸⁶.

En esta definición, Newton se enfrenta al problema de caracterizar a la inercia apelando, incorrectamente, al concepto de fuerza (*vis*), denominándola, más adelante, como *vis inertiae* o fuerza de inactividad, pero aclarando que "... un cuerpo sólo ejerce esa fuerza cuando otra fuerza impresa en él trata de alterar su estado..."³⁸⁷, con lo que, explícitamente, está marcando la clara diferencia ontológica entre la fuerza de inercia y las fuerzas impresas³⁸⁸.

Como se puede observar de esta definición, la lucha contra la multiplicidad de interpretaciones del concepto de fuerza no es trivial, y el propio

³⁸³ Newton, I., (1982), p. 223.

En terminología moderna $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, donde \mathbf{p} es la cantidad de movimiento, m es la masa y \mathbf{v} la velocidad.

³⁸⁴ En el original *vis insita*.

³⁸⁵ Newton, I., (1973), p. 2.

³⁸⁶ Newton, I., (1982), p. 224.

³⁸⁷ *ibíd.*, p. 224.

Después de la publicación de la segunda edición de los *Principia*, Newton escribió, en su propio ejemplar, una nota para ser tomada en cuenta en la siguiente edición, en la que dice:

"No me refiero a la fuerza de inercia kepleriana por la que los cuerpos se inclinan al reposo, sino a una fuerza de permanecer en el mismo estado de reposo o de movimiento". (En Cohen, I.B., (1983), p. 211).

³⁸⁸ En una nota a la Definición 3, de una revisión al tratado *De Motu*, Newton escribió (y después canceló) que "... la aplicación de la fuerza innata que preserva un estado no es comparable con la fuerza impresa para cambiarlo..." (En Harman, P.M. and Shapiro, A.E., (eds.), (1992), p. 302. El subrayado es mío).

Newton, que logrará para la posteridad la aclaración de dicho concepto, no está exento de contradicciones y limitaciones lingüísticas para plantear su discurso.

Esta *vis inertiae*, esta fuerza, que nunca funcionará como tal³⁸⁹ a lo largo de los *Principia*, será, a decir de Newton en la *Óptica*, "... un principio pasivo gracias al cual los cuerpos persisten en su movimiento o reposo, reciben movimiento en proporción a la fuerza que lo imprime y resisten tanto como son resistidos. Con este principio sólo, nunca habría movimiento en el mundo"³⁹⁰.

Pareciera ser que esta *vis inertiae* es planteada como una especie de causa explicativa de la perseverancia de los cuerpos por mantenerse en el estado en que se encuentran, ya que resulta innecesaria esta definición, dada la Primera Ley. A decir de Newton, esta *vis inertiae* es "... un poder, por medio del cual..." sucede lo que describe la Primera Ley.

Lo interesante de esta definición, es que la *vis inertiae* es siempre proporcional a la masa y es ésta la que, en última instancia, opone resistencia al cambio de estado, con lo que la caracterización de la masa, dada en la Definición I, se ve ampliada por la propiedad inercial.

La Definición IV es esencial ya que en ella se da la transformación de fuerza del cuerpo en movimiento al de fuerza que actúa sobre el cuerpo, al plantear que:

"La fuerza impresa es una acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado, bien sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta"³⁹¹.

En el comentario (o elaboración), se aclara que dicha "... fuerza consiste sólo en la acción y no permanece en el cuerpo cuando la acción concluye"³⁹², de forma tal que no le aporta nada al cuerpo que no sea su cambio de estado. Como ejemplo de estas fuerzas, Newton señala a la percusión, la presión y la fuerza centrípeta.

La fuerza impresa, que es a la que hace referencia en el enunciado de la Segunda Ley, transforma el *status* de las fuerzas, tal y como eran planteadas en la filosofía mecánica, dejando de ser un atributo de los cuerpos en movimiento para convertirse en una acción capaz de modificar el estado (de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme). Para Westfall, con "... el concepto de fuerza, la cinemática de Galileo puede ser completada por la ciencia de la dinámica"³⁹³. Al

³⁸⁹ En el sentido de la dinámica newtoniana. Como señala Cohen "... nunca se usa la ley del paralelogramo para componer vectorialmente la <<fuerza>> de inercia y las fuerzas externas usuales que cambian el estado del cuerpo... ". (Cohen, I.B., (1983), p. 213).

³⁹⁰ Newton, I., (1977), p. 343.

³⁹¹ Newton, I., (1982), p. 224.

³⁹² ibíd., p. 224.

³⁹³ Westfall, R.S., (1999), p. 151.

igual que con la cantidad de movimiento, la fuerza impresa debe ser entendida como una cantidad vectorial, como quedará explicitado más adelante en los Corolarios I y II (relativos a las Leyes de Movimiento).

La definición V plantea que la:

"Fuerza centrípeta es aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos, o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia su centro"³⁹⁴.

Esta fuerza centrípeta³⁹⁵ es la fuerza a la que había hecho referencia Hooke, en su correspondencia con Newton en 1679, lo cual es evidente en el comentario (o elaboración) a la definición en el que Newton plantea que:

"De este tipo es la gravedad, por cuya mediación los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra... y esa fuerza -sea la que fuere- en cuya virtud los planetas son continuamente apartados de los movimientos rectilíneos que de otra manera seguirían, y obligados a girar en órbitas curvas"³⁹⁶.

Al referirse a la fuerza centrípeta en *De Mundi Systemate Liber Isaacci Newtoni*, Newton dice:

"Los filósofos más recientes o piensan que son los vórtices, como Kepler o Descartes, o algún otro impulso o principio de atracción, como Borelli, Hooke y otros de entre los nuestros. Por la Ley primera del movimiento es absolutamente cierto que se requiere de alguna fuerza. Es nuestro propósito elucidar su cantidad y propiedades e investigar matemáticamente los efectos en los cuerpos en movimiento; por tanto, para no determinar su especie de manera hipotética, la hemos denominado centrípeta con un nombre genérico, por cuanto tiende a un centro..."³⁹⁷.

Paradójicamente, el propio Westfall, en otro texto, señala ser "... incapaz de ver que Newton propusiera la frase fuerza impresa como un término preciso en mecánica racional". (Westfall, R.S., (1971), p. 546).

³⁹⁴ Newton, I., (1982), p. 225.

³⁹⁵ El término centrípeta fue creado por Newton en honor a la *vis* centrífuga de Huygens. En un manuscrito newtoniano se lee que: "El Sr. Huygens le dio el nombre de *vis* centrífuga a la fuerza por medio de la cual los cuerpos se alejan del centro de su movimiento. El Sr. Newton, en honor a este autor retuvo el nombre y llamó *vis* centrípeta a la fuerza contraria". (En Cohen, I.B., (1978), pp. 53 y 296).

³⁹⁶ Newton, I., (1982), p. 225.

³⁹⁷ Newton, I., (1983), p. 49. El subrayado es mío.

De Mundi Systemate Liber Isaacci Newtoni es un tratado escrito por Newton, cuyo contenido es, básicamente, el Libro III de los *Principia*, pero en el que no se hace un tratamiento matemático. Este tratado es al que hace referencia Newton al principio del Libro III al señalar que "... había confeccionado... siguiendo un método popular, con el fin de que pudiese ser leído por muchos. Pero después, considerando que quienes no hubiesen profundizado bastante en los principios no podrían captar fácilmente la fuerza de sus consecuencias, ni descartar prejuicios a los que llevaban acostumbrados muchos años... decidí traducir la suma de materias de ese Libro a la forma de proposiciones usuales en matemáticas que sólo deberían ser leídas por quienes de antemano se hubieran familiarizado con los principios precedentes". (Newton, I., (1982), p. 655).

Con la fuerza centrípeta, Newton voltea el análisis de Huygens con respecto al movimiento circular, al fijar la atención no en la tendencia centrífuga del cuerpo por alejarse del centro sino en la causa responsable de que el cuerpo siga en el movimiento circular. En este sentido, en el comentario (o elaboración) se señala que:

"Una piedra que da vueltas en una honda se esfuerza por alejarse de la mano que la hace girar, y por ese esfuerzo distiende la honda tanto más cuanto que con mayor velocidad gira, y sale volando tan pronto es liberada. Llamo fuerza centrípeta a aquella que se opone a ese esfuerzo, y mediante la cual la honda atrae continuamente la piedra hacia la mano y la retiene en su órbita, porque se dirige hacia la mano como hacia el centro de la órbita... Si no fuese por la gravedad, un proyectil no se desviaría hacia la Tierra, sino que continuaría en línea recta con un movimiento uniforme... Es su gravedad quien le aparta continuamente de un curso rectilíneo haciendo que se desvíe más o menos hacia la Tierra... así también la Luna... puede ser desviada continuamente del curso rectilíneo que seguiría por su fuerza insita y obligada a girar en su órbita actual, y sin esa fuerza la Luna no podría ser mantenida en su órbita"³⁹⁸.

Para la caracterización de esta fuerza, fundamental en el discurso newtoniano, Newton empleará tres definiciones (VI, VII y VIII), relacionadas, a decir de él, con tres géneros: absoluto, acelerativo y motriz.

La Definición VI se refiere al primero de estos géneros, planteando que:

"La cantidad absoluta de una fuerza centrípeta es una medida proporcional a la eficacia de la causa que la propaga desde el centro por las regiones circundantes"³⁹⁹.

Esta definición no me parece mayormente relevante y sólo nos dice que la fuerza centrípeta puede ser mayor o menor, dependiendo de la distancia ya que, por ejemplo, la fuerza gravitatoria "... es mayor en valles y menor en las cimas de altísimas montañas... Pero a iguales distancias es idéntica en todas partes, porque acelera igualmente la caída de todos los cuerpos (pesados y ligeros, grandes y pequeños), prescindiendo de la resistencia del aire o descontándola"⁴⁰⁰.

La Definición VII plantea que:

"La cantidad acelerativa de una fuerza centrípeta es una medida proporcional a la velocidad que genera en un tiempo dado"⁴⁰¹.

³⁹⁸ A la muerte de Newton, se encontró este libro y fue publicado en 1728.

³⁹⁹ Newton, I., (1982), pp. 225-226. El subrayado es mío.

³⁹⁹ ibíd., p. 226.

⁴⁰⁰ ibíd., pp. 226-227.

⁴⁰¹ ibíd., p. 226

En esta definición, Newton está planteando el hecho de que lo que produce la fuerza centrípeta es una aceleración, definida en términos de la velocidad en un tiempo dado, de forma tal que sin fuerzas no hay aceleración existiendo, únicamente, reposo o movimiento rectilíneo uniforme.

Llama la atención que en el comentario (o elaboración) a la Definición VIII (la cual analizaré más adelante), al referirse a la aceleración, la llama fuerza acelerativa⁴⁰², que es una muestra más de que no obstante que Newton está aclarando el difuso panorama en torno al concepto de fuerza, pareciera ser que faltan palabras adecuadas para referirse a otros conceptos, y cae, tal vez inconscientemente, en el vago uso de la palabra fuerza (*vis*), para referirse a conceptos que, como la inercia y la aceleración, no son fuerzas en el sentido aclaratorio de la Definición IV (fuerza impresa), que es uno de los grandes legados de la dinámica newtoniana.

La definición VIII es, tal vez, la más sorprendente de todas para un lector moderno, pues en ella se encuentra, de hecho, el enunciado de la famosísima Segunda Ley, al plantear que:

"La cantidad motriz de una fuerza centrípeta es una medida proporcional al movimiento que genera en un tiempo dado"⁴⁰³.

Con respecto a la comparación entre la cantidad acelerativa y la motriz, Newton señala:

"Por lo cual la fuerza acelerativa será a la motriz lo que la celeridad es al movimiento. Porque la cantidad de movimiento surge de la celeridad multiplicada por la cantidad de materia, y la fuerza motriz surge de la acelerativa multiplicada por la misma cantidad de materia..."⁴⁰⁴.

Dicho en lenguaje moderno, lo que Newton plantea es que la aceleración es a la fuerza, lo que la velocidad es al ímpetu (cantidad de movimiento), ya que el ímpetu es el producto de la velocidad por la masa ($\mathbf{p} = m\mathbf{v}$) y la fuerza surge de la aceleración por la masa ($\mathbf{F} = m\mathbf{a}$), que es, ni más ni menos, el enunciado usual para la Segunda Ley de Newton⁴⁰⁵.

⁴⁰² Señala Newton, en el comentario (o elaboración) de la Definición VIII que: "Estas cantidades, en aras de la brevedad, pueden llamarse fuerzas motrices, acelerativas y absolutas...". (Newton, I., (1982), p. 227).

⁴⁰³ Newton, I., (1982), p. 227.

⁴⁰⁴ *ibíd.*, pp. 228-229.

⁴⁰⁵ Dado que la fuerza motriz (o la cantidad de fuerza motriz) es lo que normalmente llamamos fuerza, en el enunciado de la Definición VIII puede leerse la forma más general de la Segunda Ley de Newton $\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$ donde \mathbf{F} es la fuerza, \mathbf{p} es el ímpetu (cantidad de movimiento) y t es el tiempo,

o en notación de Cálculo Diferencial $\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$, o en notación fluxional newtoniana $\mathbf{F} = \dot{\mathbf{p}}$.

En dicho comentario (o elaboración), Newton se desentiende de la causa de esta fuerza centrípeta al señalar:

"Que esa causa sea algún cuerpo central... o alguna otra cosa cualquiera no es cuestión sobre lo que me pronuncie todavía. Pues aquí sólo pretendo dar una noción matemática de estas fuerzas, sin especular sobre sus causas y sedes físicas"⁴⁰⁶.

Como se puede observar, ya desde las definiciones Newton plantea su concepción de tratamiento matemático, al que ya he hecho referencia en la parte relativa a la metodología newtoniana, y según el cual:

"Llamo en el mismo sentido acelerativas y motrices a las atracciones e impulsos; y utilizo las palabras atracción, impulso o propensión de cualquier tipo hacia un centro de modo indiferente e intercambiable, pues considero esas fuerzas no física, sino matemáticamente. El lector no debe imaginar que mediante esas palabras pretendo definir la especie o modo de las acciones, ni sus causas o razones físicas, ni que atribuyo fuerzas en un sentido físico y auténtico a centros (que son sólo puntos matemáticos) cuando aludo a centros dotados de capacidad atractiva"⁴⁰⁷.

A través de estas ocho definiciones, Newton, prácticamente ha construido su dinámica faltando, únicamente, la conceptualización relativa a la interacción, lo cual hace en la Tercera Ley, al plantear la pareja acción-reacción⁴⁰⁸. Las ocho definiciones permiten diferenciar a la masa del peso y asignarle la propiedad de inercia, entender a la fuerza como algo que se ejerce sobre el cuerpo para cambiar su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, plantear el carácter acelerativo de las fuerzas y cuantificarlas con base en la masa y la aceleración. Además, se aclara el contenido vectorial⁴⁰⁹ de la cantidad de movimiento y de la fuerza y para que no quede ninguna duda de cómo funcionar en un mundo vectorial, en los Corolarios I y II (a las leyes)⁴¹⁰, Newton plantea el principio del paralelogramo, a partir del cual podemos sumar fuerzas y descomponerlas en sus componentes⁴¹¹.

⁴⁰⁶ Newton, I., (1982), p. 227.

⁴⁰⁷ *ibíd.*, p. 228.

⁴⁰⁸ Las tres leyes de Newton serán discutidas en la parte correspondiente al nivel teórico de la TI newtoniana.

⁴⁰⁹ Newton no utiliza el término vector para referirse a dichas cantidades.

⁴¹⁰ Corolario I: "Un cuerpo afectado simultáneamente por dos fuerzas describirá la diagonal de un paralelogramo en el mismo tiempo en que describiría los lados de ser afectado separadamente por esas fuerzas". (Newton, I., (1982), p. 238).

Corolario II: "Y así es explicada la composición de cualquier fuerza directa AD, partiendo de cualesquiera fuerzas oblicuas AC y CD, y a la inversa, la descomposición de cualquier fuerza directa AD en dos fuerzas oblicuas AC y CD. Tales composiciones y descomposiciones son abundantemente confirmadas por la mecánica". (Newton, I., (1982), p. 239).

⁴¹¹ Para Duhem, (cfr. Duhem, P., (1991), pp. 417-430) la ley de composición de fuerzas era conocida desde la antigüedad, ya que Aristóteles o quienquiera que haya compuesto *Problemas Mecánicos*, conocía la ley de composición de velocidades.

La dinámica de Newton no sólo tiene la virtud de aportar un concepto de fuerza definido cuantitativamente sino que, adicionalmente, el concepto de fuerza newtoniano es susceptible de ser generalizado a cualquier situación dinámica que se presente en un marco de referencia inercial, que son aquéllas en las que se cumple el principio de inercia (Definición III y Primera Ley). Con dicha dinámica, Newton fue capaz de resolver los tres problemas fundamentales para la ciencia del movimiento en el siglo XVII, a saber: caída libre, impactos y movimiento circular. La solución de los dos primeros, dada en términos cinemáticos por Galileo y Huygens, fueron fácilmente apropiados por la dinámica newtoniana, pudiendo pensarse, incluso, que el planteamiento newtoniano correspondiente a la Segunda y Tercera Ley, se basa, en cierta medida, en una aproximación de la teoría de Huygens que el propio Huygens era incapaz de realizar, dada su metodología y su axiología.

Con respecto al movimiento circular, cabría decir que, en primera instancia, sería más correcto hablar de movimiento curvilíneo y con él obtuvo Newton su mayor victoria, ya que fue capaz de derivar las tres leyes de Kepler, a partir de consideraciones dinámicas y zanjó definitivamente la problemática cosmológica al mostrar, en el Libro II de los *Principia*, la imposibilidad de los vórtices cartesianos, con base en las observaciones astronómicas y el comportamiento de los fluidos⁴¹².

Consecuentemente con su dinámica, en el Libro III de los *Principia*, Newton desarrolla su idea de Gravitación Universal⁴¹³ que le permite resolver infinidad de problemas empíricos tales como las mareas, las trayectorias de los cometas, las irregularidades en el movimiento lunar, la precesión de los equinoccios y la oscilación del eje terrestre, aunque sea a costa de plantear el problema anómalo de no dar respuesta al hecho de que todos los planetas giran en la misma dirección⁴¹⁴. La solución a estos problemas no es totalmente satisfactoria ya que, por ejemplo, con respecto a las mareas, la explicación gravitacional es incompleta, salvo para el caso de las mareas en alta mar, no pudiendo determinarse con precisión el número de mareas en un puerto

Posteriormente, Da Vinci, Roberval y Stevin dedicaron grandes esfuerzos para demostrarla. En particular, Roberval dejó, al morir en 1675, un manuscrito llamado *Observations sur le composition des mouvements, et sur le moyen de trouver les touchantes de lignes courbes*, en el que aplica la ley de composición de fuerzas a su dinámica. En 1687, Varignon, en su *Projet d'une nouvelle Méchanique* establece el mismo principio. Sería hasta su *Nouvell Méchanique* que Varignon plantea su famoso teorema, en el que señala "... el momento de la resultante de dos fuerzas es igual a la suma algebraica de los momentos de sus componentes". (En Duhem, P., (1991), p. 424).

⁴¹² De hecho, en el Libro II de los *Principia*, Newton construye una dinámica de fluidos, con la finalidad de mostrar la imposibilidad de los vórtices.

⁴¹³ La Gravitación Universal será discutida en la parte relativa al nivel teórico de la TI newtoniana.

⁴¹⁴ Este problema lo considero una anomalía en el sentido laudiano, ya que tanto el discurso de Kepler como el de Descartes, sí tienen una respuesta al mismo. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 26-31).

específico y la teoría lunar newtoniana dista mucho de ser perfecta, pero sin embargo, las soluciones newtonianas representan aproximaciones que muestran con claridad el camino a seguir en la descripción de fenómenos físicos complejos. Efectivamente, serán Clairaut, D'Alambert y Euler los que construirán una auténtica teoría lunar newtoniana.

De igual manera, la concepción newtoniana genera dos graves problemas conceptuales, que son los relativos a la acción a distancia, y la absolutización del espacio, tiempo y movimiento⁴¹⁵.

Un problema que los *Principia* no resuelve, no obstante que Newton lo pudo haber resuelto, es el correspondiente a alcanzar la máxima precisión lingüística a través de la utilización de un aparato matemático ideal para la descripción. Digo que lo pudo haber resuelto, por el hecho de que él si disponía de ese aparato matemático, que es el que provee el Cálculo Diferencial e Integral (Teoría de Fluxiones y Teoría de Fluxiones Inversas, en terminología newtoniana), pero dado que no lo había dado a conocer⁴¹⁶, en los *Principia*, Newton no lo utiliza más que metafóricamente⁴¹⁷. Este problema nunca será atacado por Newton en las siguientes ediciones⁴¹⁸, pero los continuadores de la TI newtoniana lo resolverán de manera prácticamente inmediata, con la paradójica situación de que el Newton que aprenderán los físicos, hasta nuestros días, será un Newton fluxional.

El análisis retrospectivo, relativo a la capacidad de resolver problemas por parte del discurso newtoniano, muestra que la estrategia de reducir toda la ciencia del movimiento al análisis de fuerzas, es un claro ejemplo de la inflación por construcción arquetípica a la que hace referencia Laudan⁴¹⁹, pues la TI newtoniana ha sido capaz de resolver problemas que Newton ni siquiera se planteó, como los relativos a fenómenos en los que la masa no es constante o problemas en marcos de referencia no inerciales en los que aparecen fuerzas ficticias como la huygensiana fuerza centrífuga, la fuerza de Coriolis y la fuerza de Euler⁴²⁰.

⁴¹⁵ Esto será tratado en la parte correspondiente al nivel teórico de la TI newtoniana.

⁴¹⁶ Y de aquí viene la controversia con Leibniz por la 'paternidad' del Cálculo.

⁴¹⁷ En la parte relativa al nivel teórico, se analizará la Matemática utilizada en los *Principia*.

⁴¹⁸ En realidad, tendría que haber escrito otro libro.

⁴¹⁹ cfr. Laudan, L., (1977), pp. 34-35.

⁴²⁰ cfr. Goldstein, H., (1969), pp. 132-140.

CAPÍTULO IV

La Teoría Newtoniana en los Principia

Introducción

La aparición, en 1687, de los *Principia*, representa un momento culminante en la historia de la ciencia. A lo novedoso y revolucionario de los planteamientos newtonianos se agrega la forma en que Newton presenta sus resultados, construyendo un edificio conceptual aparentemente inexpugnable.

Por lo anterior, para el análisis de la teoría newtoniana plasmada en los *Principia*, es necesario, además de desmenuzar sus famosas leyes y su Teoría de la Gravitación, examinar la estructura general de la obra, revisar algunos conceptos como los de espacio, tiempo, movimiento y lugar absolutos, que prácticamente no aparecen en el canon newtoniano actual, así como visualizar el tipo de lenguaje matemático utilizado por Newton, que curiosamente no es Cálculo Diferencial e Integral.

IV.1 Estructura de los Principia

Como se apuntó, en el análisis relativo a la metodología newtoniana, tanto los *Principia* como la *Óptica* se presentan como estructuras axiomáticas, que parten de definiciones fundamentales y plantean inmediatamente conjuntos de axiomas (tres en los *Principia* y ocho en la *Óptica*) que supuestamente deberán de servir de base en la construcción discursiva ulterior. Sin embargo, en el caso de la *Óptica*, en realidad los axiomas son un compendio del conocimiento de la época, no jugando un papel relevante en el transcurso de la obra, mientras que en los *Principia* los axiomas son, ya desde el mismo título, planteados como Leyes de Movimiento y son, ni más ni menos, las famosas Leyes de Newton, las cuales sí van a jugar un papel fundamental en la construcción lógica de los *Principia*. Por otra parte, llama la atención que, en ambos casos, los axiomas representan proposiciones que aparecen como evidentes y necesarias⁴²¹, dotadas de obvia prioridad epistémica, como sucedería, por ejemplo, en la Geometría Euclidiana, en la que los axiomas representan verdades *a priori* sobre las que se construye, demostrativamente, el edificio de dicha Geometría. Esta forma clásica de axiomatización ha sido denominada por Moulines⁴²² como evidencial-concreta, y aunque por razones puramente cronológicas debería haber sido la forma asumida por Newton para su construcción axiomática, no es así. A diferencia de los axiomas de Euclides, asignarle el carácter de evidentes en sí mismas a las Leyes de Newton, es totalmente excesivo, dada su complejidad y la dificultad para entenderlas a cabalidad, incluso para un lector actual.

⁴²¹ Tal vez en el caso de la *Óptica*, podrían considerarse como tales, dada la aceptación general que dichos axiomas representan para la comunidad científica de la época, lo cual no puede argüirse en el caso de los *Principia*.

⁴²² cfr. Moulines, C.U., (1987).

Aunque la comparación entre la axiomatización newtoniana y la euclidiana resalta las diferencias entre ambas, Moulines introduce un elemento perturbador, al plantear como ejemplo de axiomatización evidencial-concreta a la realizada por Descartes en *Le Monde ou Traité de la Lumière*, en la que las Reglas o Leyes de la Naturaleza asumen el papel de verdades metafísicas *a priori*, de forma tal que, según Descartes, "... aquellos que sepan examinar suficientemente las consecuencias de estas verdades... podrían conocer los efectos por sus causas, y... podréis tener demostraciones *a priori* de todo lo que puede producirse en este nuevo mundo"⁴²³. El elemento perturbador al que me refiero se relaciona con el hecho de que, como señalé con anterioridad⁴²⁴, las reglas de Descartes representan el principio de inercia y la conservación de la cantidad de movimiento que, comparadas con las tres leyes de Newton, parecerían ser planteamientos con el mismo rango epistémico, no quedando claro por qué la axiomatización cartesiana puede ser catalogada como evidencial-concreta mientras que se le niega esta caracterización a la axiomatización newtoniana. La solución de este problema está vinculada a las diferencias entre las pretensiones axiomatizadoras de Descartes y de Newton. Para Descartes el concepto de movimiento es primario, evidente en sí mismo, ya que "... la naturaleza del movimiento del que yo quiero hablar aquí es tan fácil de conocer, que los géómetras mismos, que entre todos los hombres son los más dedicados a concebir muy distintamente las cosas que han considerado, lo han juzgado más simple y más inteligible que el de sus superficies y sus líneas... Y yo no conozco ninguno que sea más fácil de concebir que el de las líneas de los géómetras..."⁴²⁵. Para Descartes, sus reglas son verdades eternas, que se producen como intuiciones directas e inmediatas.

En el tratamiento newtoniano de los axiomas podemos encontrar la clara diferenciación entre éstos y las definiciones que los anteceden, así como de los términos básicos no definibles, tales como espacio, tiempo, lugar y movimiento, sobre los que se permite reflexionar de manera especulativa en el Escolio posterior a las Definiciones, de forma tal que los axiomas no son ni demostrables ni definibles, pero sin embargo no deben ser consideradas como verdades evidentes y necesarias sino que representan, a decir de Newton, "... principios aceptados por los matemáticos y confirmados por experiencias múltiples"⁴²⁶.

⁴²³ Descartes, R., (1986), p. 92. El subrayado es mío.

El nuevo mundo al que hace referencia Descartes, es ese mundo posible en el que se ubica su tratado, con la finalidad de escapar de consecuencias desagradables como las enfrentadas por Galileo. En palabras de Descartes: "Permítanle pues a su pensamiento, por algún tiempo, salir fuera de este mundo, para llegar a ver otro completamente nuevo, que haré nacer en su presencia en los espacios imaginarios". (Descartes, R., (1986), p. 77).

⁴²⁴ En la parte relativa al objetivo newtoniano de resolver problemas.

⁴²⁵ Descartes, R., (1986), p. 85. El subrayado es mío.

⁴²⁶ Newton, I., (1982), p. 246. El subrayado es mío.

Es tal vez este carácter novedoso asignado a los axiomas lo que permite explicar el hecho de que aunque en el tratado *De Gravitatione et aequipondio fluidorum* (cfr. Newton, I., (1978c)), redactado entre 1664 y 1668, Newton utilizó el término axioma, en los diversos tratados *De Motu*, preparatorios de los *Principia*, no utiliza este término sino el de hipótesis en algunos casos y en otros, el de leyes. (cfr. Newton, I., (1965b), pp. 257-258 y Newton, I., (1965a), 294-295).

Como es evidente, los axiomas newtonianos surgen y son relevantes por su aplicabilidad, siendo esta característica lo que les permiten ser el sustento de las demostraciones matemáticas que constituyen los Libros I y II de los *Principia*, así como en la construcción del Sistema del Mundo, en el Libro III. Adicionalmente, encontramos que el contenido epistémico de ellos no es igual, sino que por el contrario, representan un sistema fuertemente jerarquizado en el que el Axioma II (Segunda Ley de Newton) es prioritario con respecto a los otros dos⁴²⁷.

Esta concepción axiomática, corresponde de manera más adecuada a lo que Moulines denomina como axiomatización jerárquico-aplicativa en la que "... todos los axiomas son axiomáticos, pero algunos son más axiomáticos que otros"⁴²⁸, y en la que la jerarquía entre los axiomas depende de su alcance aplicativo externo. Las estructuras de este tipo se construyen introduciendo, antes de los axiomas, los términos básicos de la teoría, "... mediante caracterizaciones formales que tienen la forma de cuasi-definiciones o elucidaciones matemáticas..."⁴²⁹.

Como es evidente, la axiomatización jerárquico-aplicativa coincide, en mucho mayor grado, con el propósito newtoniano que la evidencial-concreta lo cual, en sí mismo, representa otro logro de Newton, pues fue capaz de generar una estructura axiomática novedosa, acorde con sus pretensiones formales y en relación con la evidencia empírica con que disponía.

Una vez sentadas las definiciones básicas, las elucidaciones en torno a términos de uso común y los axiomas (con sus correspondientes escolios y corolarios), todo ello planteado antes de los tres libros que componen los *Principia*⁴³⁰, Newton construye sus dos primeros libros en los que se dedica a plantear demostraciones matemáticas, para concluir, en el Libro III, con su descripción del Sistema del Mundo, en el que combina la evidencia empírica con el andamiaje demostrativo de las partes previas.

La idea de lo confirmable a través de la experiencia, de los axiomas, ya se encuentra presente en Newton, desde la redacción del tratado *De Gravitatione*, en el que señala que para que la "... utilidad sea particularmente evidente y la certeza de sus principios quizás demostrable, no me resistiré a ilustrar las proposiciones abundantemente a partir de los experimentos..." (Newton, I., (1978c), p. 121), que es lo que efectivamente hará Newton en los *Principia*.

⁴²⁷ Incluso hay quienes plantean, erróneamente desde mi punto de vista, que la Primera Ley representa, únicamente, un caso particular de la Segunda Ley, cuando la fuerza vale cero. (cfr. Physical Science Study Committee, (1966), p. 328 y Reimann, A.L., (1974), p. 149).

⁴²⁸ Moulines, C.U., (1987), p. 103.

⁴²⁹ ibíd., p. 103.

La forma de axiomatización jerárquico-aplicativa es la que se emplea en la concepción estructural. La otra forma de axiomatización a la que hace referencia Moulines es la que él denomina como democrático-abstracta, la cual surge de los trabajos en Matemáticas, como la reaxiomatización de Hilbert de la Geometría Euclidiana y el trabajo sobre lenguajes formales de Tarski y Carnap. (cfr. Moulines, C.U., (1987), p. 102).

⁴³⁰ Moulines denomina a esta parte como Sección Básica, dotada de una generalidad superior, que abarca al resto de la obra.

De esta manera, en los Libros I y II, Newton demuestra lemas, proposiciones-teoremas, corolarios y proposiciones-problemas de carácter matemático que van desde demostraciones generales hasta otros casos en los que la demostración introduce algún condicional, o incluso resultados de alcance limitado introduciendo, en algunas ocasiones, condiciones físicas específicas de manera no formal, como sucede en algunos de los escolios.

En el Libro III, la estructura de proposiciones-teoremas, proposiciones-problemas, lemas y corolarios es similar, pero introduce los fenómenos, lo que permite la construcción ya no sólo matemática, sino física, del concepto de Gravitación Universal⁴³¹.

⁴³¹ La tabla de contenidos de los *Principia* es:

SECCIÓN BÁSICA

Definiciones

Axiomas o Leyes del movimiento

LIBRO I. EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS

Sección Primera. Sobre el método de las primeras y últimas razones de cantidades, mediante el cual se demuestran las proposiciones siguientes

Sección II. Sobre la determinación de fuerzas centrípetas

Sección III. El movimiento de los cuerpos en secciones cónicas excéntricas

Sección IV. Sobre la determinación de órbitas elípticas, parabólicas e hiperbólicas a partir del foco dado

Sección V. Cómo hallar las órbitas cuando no se da ningún foco

Sección VI. Sobre la determinación de los movimientos en órbitas dadas

Sección VII. Sobre el ascenso y descenso rectilíneo de los cuerpos

Sección VIII. Sobre la determinación de órbitas en las que girarán cuerpos sometidos a cualquier tipo de fuerza centrípeta

Sección IX. Sobre el movimiento de cuerpos en órbitas móviles; y el movimiento de los ápsides

Sección X. Sobre los movimientos de cuerpos en superficies dadas y el oscilante movimiento pendular de los cuerpos

Sección XI. Sobre los movimientos de cuerpos que tienden unos a otros con fuerzas centrípetas

Sección XII. Sobre las fuerzas atractivas de cuerpos esféricos

Sección XIII. Sobre las fuerzas atractivas de cuerpos no esféricos

Sección XIV. Sobre el movimiento de cuerpos muy pequeños cuando son perturbados por fuerzas centrípetas tendentes hacia las diversas partes de cualquier cuerpo muy grande

LIBRO II. EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS (En medios resistentes)

Sección Primera. Sobre el movimiento de cuerpos que son resistidos en la razón de la velocidad

Sección II. Sobre el movimiento de los cuerpos que son resistidos como el cuadrado de su velocidad

Sección III. Sobre el movimiento de los cuerpos que son resistidos en parte en razón de las velocidades y en parte como el cuadrado de la misma razón

Sección IV. El movimiento circular de los cuerpos en medios resistentes

Sección V. Sobre la densidad y compresión de los fluidos; hidrostática

Sección VI. Sobre el movimiento y resistencia de los cuerpos pendulares

Sección VII. Sobre el movimiento de los fluidos y la resistencia a cuerpos proyectados

Sección VIII. La propagación del movimiento por los fluidos

Sección IX. El movimiento circular de los fluidos

LIBRO III. SISTEMA DEL MUNDO (Matemáticamente tratado)

Reglas para filosofar

Fenómenos

Proposiciones

El movimiento de los nodos de la Luna

Escolio General

Dada la importancia de la Matemática en la estructura misma de los *Principia*, a continuación analizaré el tipo de Matemática utilizada por Newton.

IV.2 La Matemática de los Principia

Cuando se entra en contacto con los *Principia*, el primer elemento que sorprende es que los planteamientos matemáticos hechos por Newton en esta obra, no hayan sido elaborados utilizando la herramienta provista por el Cálculo⁴³² y en su lugar haya utilizado, prioritariamente, una compleja estructura conceptual que podría denominarse Geometría Fluyente⁴³³, que basándose en la Geometría tradicional, introduce elementos que la acercan a lo que hoy en día conocemos como Cálculo. Sin embargo, esto no obsta para que en algunas partes haya demostraciones estrictamente geométricas y también se encuentren pinceladas de Teoría de Fluxiones⁴³⁴.

Como ejemplo de la utilización de la Geometría tradicional, basta ver el Lema XVII de la Sección V en el Libro I en el que se plantea que:

"Si desde cualquier punto P de una sección cónica dada se trazan, hasta los cuatro lados prolongados AB, CD, AC y DB de cualquier trapecio ABCD inscrito en esa sección, otras tantas rectas PQ, PR, PS y PT en ángulos dados, cada línea a cada lado, el rectángulo PQ x PR de las de los lados opuestos AB y CD guardará con el rectángulo PS x PT de las de los otro dos lados opuestos AC y BD una razón dada"⁴³⁵.

Para la demostración de este lema, Newton plantea tres diagramas que representan los tres posibles casos congruentes con el enunciado:

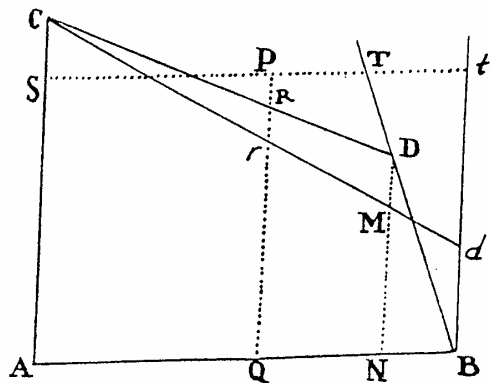
⁴³² Teoría de Fluxiones y Teoría de Fluxiones Inversas, según la terminología de Newton.

Aunque Newton aseguró en el *Account of Commercium Epistolicum* (1713) que la primera versión de los *Principia* estaba escrita en estilo fluxional, que luego transcribió a una representación geométrica, hoy en día se admite que tal versión no existió nunca y que la aseveración de Newton debe ubicarse en términos de la controversia con Leibniz por la paternidad del Cálculo. (cfr. Westfall, R.S., (1996), pp. 727-729).

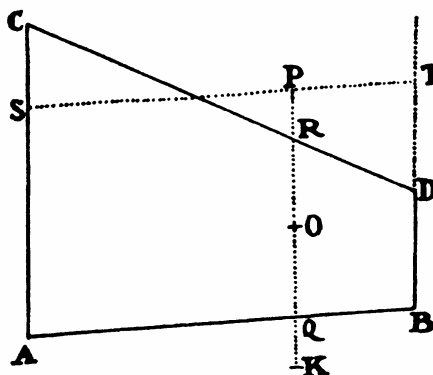
⁴³³ La idea de combinar Geometría y movimiento, a partir de análisis infinitesimales, no es original de Newton. Ya en las *Lectiones Mathematicae* y sobre todo en las *Lectiones Geometricae* de Isaac Barrow, se puede observar esta forma de atacar problemas de índole matemática. (cfr. Mahoney, M.S., (1990)).

⁴³⁴ Esta aparente ambigüedad puede deberse, a decir de Panza (refiriéndose a la teoría de fluxiones), a que la "... evolución de la teoría de Newton, que lo lleva al umbral del análisis, coincide con el surgimiento de su debilidad intrínseca y de su ambigüedad geométrica; una debilidad que se debe al modo en el que se establecen los vínculos entre la geometría, la noción de velocidad puntual y, más tarde, de fluxión, y el formalismo asociado a esta noción". (Panza, M., (2001), p. 53). En este sentido, la tensión entre la fortaleza y la debilidad de la teoría fluxional, obliga a Newton a "... hacer una elección, la que marca la naturaleza de los *Principia*. Y si el objetivo era el de comprender el movimiento real de los planetas, esta elección no podía ser otra sino la de la perspicuidad geométrica". (Panza, M., (2001), p. 53).

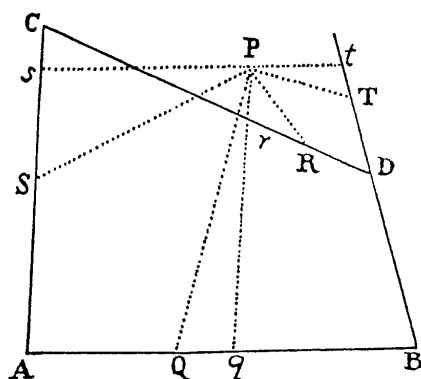
⁴³⁵ Newton, I., (1982), p. 311.



Caso 1



Caso 2



Caso 3

De forma que, haciendo referencia a cada uno de ellos, demuestra de manera puramente geométrica, la verdad general del lema.

Como prueba de que los argumentos utilizados son estrictamente geométricos, basta ver la demostración del Caso 3, en el que señala:

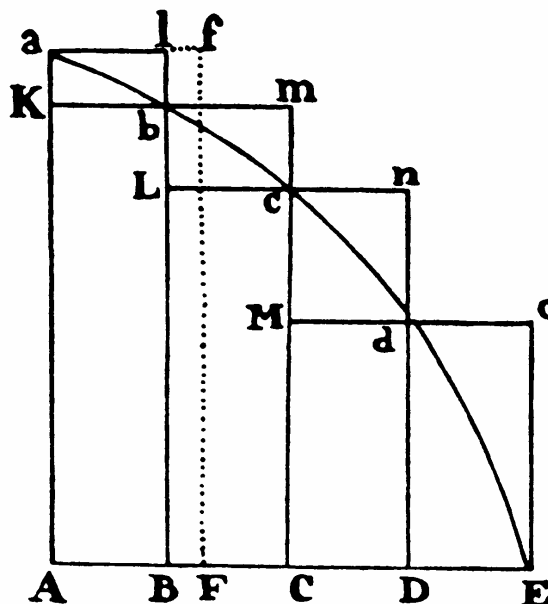
"Supongamos, por último, que las cuatro líneas PQ, PR, PS y PT, no son paralelas a los lados AC y AB, sino inclinadas de cualquier modo hacia ellos.

En su lugar trácense Pq y Pr, paralelas a AC; así como Ps y Pt paralelas a AB; puesto que los ángulos de los triángulos PQq, PRr, PSs y PTt, están dados, las razones PQ a Pq, PR a Pr, PS a Ps, PT a Pt; estarán dadas también; y, en consecuencia, las razones compuestas PQ x PR a Pq x Pr y PS x PT a Ps x Pt están dadas. Pero a partir de lo antes demostrado, está dada la razón de Pq x Pr a Ps x Pt; y, por tanto, también la razón de PQ x PR a PS x PT"⁴³⁶.

⁴³⁶ ibíd., p. 312.

En lo que a las fluxiones se refiere, en la Sección I del Libro I, Newton plantea un conjunto de lemas en los que fácilmente podemos apreciar el concepto de Integral Definida, como se observa en el Lema II que, a la letra, dice:

"Si en cualquier figura $AacE$, delimitada por las líneas rectas Aa , AE , y la curva acE , se inscriben cualquier número de paralelogramos Ab , Bc , Cd , etc., comprendidos bajo bases iguales AB , BC , CD , etc., y lados Bb , Cc , Dd , etc., paralelos al lado Aa de la figura,



y se completan los paralelogramos $aKbl$, $bLcm$, $cMdn$, etc., si la anchura de esos paralelogramos se supone que irá disminuyendo y su número aumentando infinitamente, afirmo que las últimas razones que guardarán entre sí la figura inscrita $AKbLcMdD$, la figura circunscrita $AalbmncnoE$ y la figura curva $AabcdE$ son razones de igualdad"⁴³⁷.

El tipo de argumentos que utiliza Newton en la demostración, son los que se utilizan, hoy en día, en la explicación de que la integral definida representa el área bajo la curva considerada.

En el Escolio final de la Sección I, se discute lo que el lector debe entender por cantidades evanescentes y cantidades nacientes, en el que podemos visualizar un concepto intuitivo de límite, que es central para todos los desarrollos ulteriores. En dicho Escolio se señala:

⁴³⁷ ibíd., pp. 257-258.

"Por consiguiente, si en lo sucesivo considerase las cantidades como formadas por partículas constantes o usara pequeñas curvas como rectas, no debe entenderse que me refiero a indivisibles, sino a divisibles evanescentes, ni a las sumas y razones de partes determinadas, sino siempre a los límites de sumas y de razones... Puede quizá objetarse que no hay proporción última de cantidades evanescentes; porque antes de haberse desvanecido las cantidades la proporción no es última, y cuando se han desvanecido no hay ninguna... debe entenderse por razón última de cantidades evanescentes la razón de las cantidades no antes de desvanecerse, ni después, sino aquella con la cual se desvanecen... Y hay un límite semejante en todas las cantidades y proporciones que comienzan y cesan. Y como tales límites son ciertos y definidos, determinarlos es un problema estrictamente geométrico... Porque esas razones últimas con las que se desvanecen las cantidades no son verdaderamente las razones de cantidades últimas, sino límites hacia los que siempre convergen las razones de cantidades que decrecen sin límite, y a los cuales se aproximan más que por ninguna diferencia dada, pero sin ir más allá ni efectivamente alcanzarlo hasta disminuir infinitamente las cantidades"⁴³⁸.

Más adelante, en el Libro II aparece, con absoluta claridad, tanto el concepto de derivada como el algoritmo para derivar suma, producto, cociente de funciones, así como funciones potenciales y función compuesta, al señalar:

"El momento de cualquier generada es igual a los momentos de cada uno de los lados generadores multiplicados por los índices de las potencias de dichos lados y por sus coeficientes continuamente"⁴³⁹.

En el comentario (o elaboración) de este lema, Newton señala que:

⁴³⁸ ibíd., pp. 267-268.

Este Escolio, junto con los lemas que lo preceden muestran, a decir de Kitcher, la esencia geométrica de la concepción fluxional de Newton. (cfr. Kitcher, P., (1973), pp. 48-49).

⁴³⁹ ibíd., p. 495.

Newton solía referirse a este Lema, como prueba a su favor en la controversia con Leibniz, por la paternidad del Cálculo. Incluso, en la Primera Edición, al final del Lema, había un escolio en el que Newton señalaba: "En cartas que hace diez años mediaron entre el sabio geómetra Leibniz y yo mismo, como manifestare que yo era poseedor de un método para determinar máximos y mínimos, para tratar tangentes y para hacer cosas semejantes... me contestó el muy preclaro varón que también él había llegado a método semejante, y comunicó un método apenas diferente al mío más que en las formas verbales y de notación. El fundamento de ambos métodos se halla en este lema". (En Newton, I., (1987), pp. 430-431).

En realidad, el primer creador del Cálculo fue, efectivamente, Newton, pues los elementos fundamentales del mismo ya habían sido construidos por él, desde el tratado de octubre de 1666 que se denomina (por su encabezado) como *To resolve Problems by Motion these following Propositions are sufficient*. En este tratado, Newton plantea la solución algebraica para problemas geométricos y a partir de la idea de velocidades instantáneas resuelve el problema de las tangentes. Adicionalmente, resuelve problemas de cálculo de áreas utilizando el método de cuadraturas. Lo verdaderamente sorprendente de este tratado se encuentra en la Proposición 8, en la que plantea el hecho de que el método de cuadraturas es inverso al de tangentes, resultado que hoy en día se conoce como Teorema Fundamental del Cálculo. (cfr. Newton, I., (1978d)).

"Llamo generada a cualquier cantidad no formada por adición o substracción de diversas partes, sino generada o producida en aritmética por multiplicación, división o extracción de raíz de cualquier término... considero tales cantidades como variables e indeterminadas, y creciendo y decreciendo, por así decirlo, por un movimiento o flujo continuo. Doy a su incremento o disminución momentáneos el nombre de momento... el Lema significa que si los momentos de cualesquiera cantidades A, B, C, etc., que aumenten o disminuyan en flujo continuo, o las velocidades de las mutaciones proporcionales a aquéllos son llamados a, b, c, etc., el momento o mutación del rectángulo generado AB será $aB+bA$, el momento del contenido generado ABC será $aBC+bAC+cAB$, y los momentos de las potencias generadas $A^2, A^3, A^4, A^{1/2}, A^{3/2}, A^{1/3}, A^{2/3}, A^{-1}, A^{-2}, A^{-1/2}$, serán respectivamente: $2aA, 3aA^2, 4aA^3, (1/2)aA^{-1/2}, (3/2)aA^{1/2}, (1/3)aA^{-2/3}, (2/3)aA^{-1/3}, -aA^{-2}, -2aA^{-3}$, y $(-1/2)aA^{-3/2}$; y, en general, que el momento de cualquier potencia $A^{n/m}$ será $(n/m)aA^{(n-m)/m}$. También, que el momento de la cantidad generada A^2B será $2aAB+bA^2$, el momento de la cantidad generada $A^3B^4C^2$ será $3a^2B^4C^2 + 4bA^3B^3C^2 + 2cA^3B^4C$, y el momento de la cantidad generada A^3/B^2 o de A^3B^{-2} será $3aA^2B^{-2} - 2bA^3B^{-3}$, etc."⁴⁴⁰.

Para la demostración de estas reglas algorítmicas, Newton plantea seis casos concatenados que muestran, con absoluta claridad, la naturalidad en el manejo del novedoso aparato matemático.

No obstante lo anterior, el *corpus* matemático de los *Principia* está construido con base en lo que he denominado Geometría Fluyente⁴⁴¹, en la que se introduce el movimiento en los razonamientos y se admite lo infinitamente pequeño, de forma tal que los puntos se mueven sobre líneas, generándose las curvas como trayectorias de puntos en movimiento.

La matemática newtoniana de los *Principia* implica la interpretación de las figuras a partir de las transformaciones que se presentan cuando ciertos elementos de las figuras tienden a posiciones límite o se hacen infinitamente pequeños. En palabras de De Gandt "... el método consiste en deformar una figura geométrica hasta un estado límite, conservando en lo finito una configuración siempre semejante a la situación infinitesimal"⁴⁴².

Esta forma matemática, a mitad de camino entre Geometría tradicional y Cálculo, no es una simple herramienta para calcular, sino que representa un lenguaje propiamente dicho, indisolublemente ligado a los conceptos físicos de los que se nutre y a los que, en última instancia, responde⁴⁴³.

⁴⁴⁰ Newton, I., (1982), pp. 495-496.

⁴⁴¹ F. De Gandt lo ha denominado Geometría de lo extremo. (cfr. De Gandt, F., (1990)).

⁴⁴² De Gandt, F., (1990), p. 165.

⁴⁴³ Garrison lleva esta idea al extremo al plantear que para "... Newton, no hay tal cosa como una geometría absolutamente pura, libre de contenido empírico". (Garrison, J.W., (1987), p. 612).

Como ejemplo de lo anterior, baste considerar la Proposición VI. Teorema V, Sección II, Libro I, que a la letra dice:

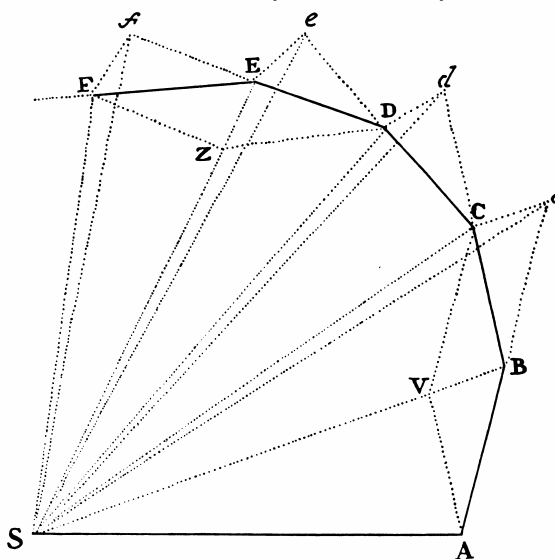
"En un espacio sin resistencia si un cuerpo gira en cualquier órbita alrededor de un centro inmóvil, y en el tiempo mínimo describe cualquier arco justamente entonces nascente, y el seno verso del arco se supone trazado bisectando la cuerda, y prolongado pasando por el centro de fuerza, entonces la fuerza centrípeta en la mitad del arco será directamente como el seno verso e inversamente como el cuadrado del tiempo"⁴⁴⁴.

Y la Proposición XXXII. Problema XXIV, Sección VII, Libro I:

"Suponiendo que la fuerza centrípeta sea inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares al centro, se pide definir los espacios que describe en tiempos dados un cuerpo que cae en línea recta"⁴⁴⁵.

Para ilustrar la forma de funcionar de la Geometría Fluyente, a continuación discutiré, a manera de ejemplo, la Proposición I, Teorema I de la Sección II del Libro I, en la que se señala:

"Las áreas que los cuerpos en revolución describen mediante radios trazados hasta un centro de fuerza inmóvil se encuentran en los mismos planos inmóviles y son proporcionales a los tiempos en los que se describen"⁴⁴⁶.



Para la demostración, Newton supone al tiempo partido en intervalos iguales y a un cuerpo que se mueve de A a B en el primer intervalo de tiempo. Si no actuase alguna fuerza sobre el cuerpo, llegaría al punto c (como consecuencia de la primera ley), de tal manera que las trayectorias AB y Bc fuesen iguales.

⁴⁴⁴ Newton, I., (1982), p. 279.

⁴⁴⁵ ibíd., p. 354.

⁴⁴⁶ ibíd., p. 270.

Trazando los segmentos AS, BS y cS, demuestra que las áreas de ΔASB y ΔBSc son iguales por tener un lado común (SB) y $AB=Bc$ con $AB \parallel Bc$.

Si cuando el cuerpo llega a B actúa sobre él una fuerza centrípeta instantánea dirigida hacia S, su trayectoria se modificará, digamos en la dirección Bd.

Trazando una paralela a BS a través de c, sobre la línea Bd encuentra el punto C y al completarse el segundo intervalo de tiempo (por el Corolario 1 de las Leyes⁴⁴⁷), el cuerpo se encontrará en C (ver paralelogramo VBcC), en el mismo plano que el ΔASB .

Trazando el segmento SC y comparando el ΔBSC y el ΔBSc , demuestra que sus áreas son iguales, ya que SB es paralelo a Cc (por construcción) y, por lo tanto, el área del ΔBSC es igual a la del ΔASB .

Con argumentos similares, si una fuerza centrípeta actúa sucesivamente en C, D, E, etc., haciendo que el cuerpo en cada intervalo de tiempo describa las trayectorias CD, DE, EF, etc., se demuestra que todas esas trayectorias están en el mismo plano y que los ΔCSD , ΔDSE , ΔESF , etc, tendrán áreas iguales. Por lo tanto, "... en tiempos iguales se describen áreas iguales de un plano inmóvil"⁴⁴⁸.

Hasta ahora Newton ha utilizado, para la demostración:

- 1) Primera y Segunda Ley (Corolario Primero)
- 2) El tiempo, considerado en intervalos iguales y
- 3) Geometría tradicional.

A partir de este punto de la demostración, Newton introduce un concepto de límite al aumentar el número de triángulos y disminuir su anchura *in infinitum*, haciendo tender el intervalo de tiempo a cero para concluir que el perímetro ABCDE... es una línea curva en la que la fuerza centrípeta, por la que un cuerpo es continuamente separado de la tangente de dicha curva, actúa de manera continua y que las áreas barridas son siempre proporcionales a los tiempos en que estas áreas son descritas⁴⁴⁹.

⁴⁴⁷ Corolario Primero. "Un cuerpo afectado simultáneamente por dos fuerzas describirá la diagonal de un paralelogramo en el mismo tiempo en que describirá los lados de ser afectado separadamente por esas fuerzas". (Newton, I., (1982), p. 238).

⁴⁴⁸ Newton, I., (1982), p. 271.

⁴⁴⁹ Si para la demostración anterior Newton hubiera utilizado el Cálculo, ésta podría haber sido como sigue:

Tomando en cuenta que la fuerza es central (y puesto que para la demostración de que el cuerpo se mueve en un plano no es necesario el Cálculo) podemos elegir el sistema de referencia tal que el plano xy contenga a la fuerza y a la velocidad. En este sistema

$$\ddot{\vec{F}} = |\vec{F}|(\hat{i}\cos\theta + \hat{j}\sin\theta) \quad (1)$$

y el vector de posición en coordenadas cartesianas será

Utilizando este resultado, junto con el Corolario I de la Proposición XIII, Problema VIII en la Sección III del Libro I⁴⁵⁰ y la Proposición XI, Problema VI, Sección III del Libro I⁴⁵¹, que son de carácter general, Newton es capaz, en el Libro III, de demostrar la Primera y Segunda Leyes de Kepler, como se muestra en la Proposición XII. Teorema XII, Libro III:

"Que los planetas se mueven por elipses que tienen su foco común en el centro del Sol, y que, mediante radios trazados a dicho centro, describen áreas proporcionales a los tiempos de descripción"⁴⁵².

En la demostración de esta proposición, Newton plantea que:

$$\ddot{\mathbf{r}} = x\hat{\mathbf{i}} + y\hat{\mathbf{j}} \quad (2)$$

Ahora bien, cuando la partícula se mueve de A a B el arco que recorre el radio vector AS=r barre el área del triángulo ASB, que es igual a

$$\Delta A = \frac{1}{2}r^2\Delta\theta, \quad (3)$$

en donde $\Delta\theta$ es el ángulo ASB. Dividiendo entre Δt y tomando la razón última de las cantidades evanescentes (Escolio, Sección I, Libro Primero), el área barrida por unidad de tiempo será

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}r^2\dot{\theta}. \quad (4)$$

Por otro lado, derivando dos veces el vector de posición con respecto al tiempo, la expresión que se obtiene para la aceleración es:

$$\ddot{\mathbf{a}} = (\ddot{r} + r\dot{\theta}^2)(\hat{\mathbf{i}}\cos\theta + \hat{\mathbf{j}}\sin\theta) + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})(-\hat{\mathbf{i}}\sin\theta + \hat{\mathbf{j}}\cos\theta) \quad (5)$$

y, por la segunda ley,

$$\ddot{\mathbf{F}} = |F|(\hat{\mathbf{i}}\cos\theta + \hat{\mathbf{j}}\sin\theta) = m[(\ddot{r} + r\dot{\theta}^2)(\hat{\mathbf{i}}\cos\theta + \hat{\mathbf{j}}\sin\theta) + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})(-\hat{\mathbf{i}}\sin\theta + \hat{\mathbf{j}}\cos\theta)] \quad (6)$$

Esta igualdad implica que el segundo término del miembro derecho debe ser cero; es decir

$$2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta} = 0. \quad (7)$$

Multiplicando por r y utilizando el Lema II, Sección II, Libro II, se obtiene:

$$2r\dot{r}\dot{\theta} + r^2\ddot{\theta} = \frac{d}{dt}(r^2\dot{\theta}) = 0. \quad (8)$$

y por tanto, $r^2\dot{\theta} = \text{cte}$. Comparando esta última expresión con la ecuación (4), se sigue que el radio vector barre áreas iguales en iguales intervalos de tiempo, que es lo que se quería demostrar. Desde luego, en lenguaje moderno este resultado sería una constante de movimiento (multiplicado por la masa nos da la conservación de la magnitud del momento angular), pero Newton nunca habla de ellas en su discurso.

⁴⁵⁰ Corolario I. Proposición XIII. Problema VIII. Sección III, Libro I

"De las tres últimas proposiciones se sigue que si cualquier cuerpo P parte del lugar P con cualquier velocidad en la dirección de cualquier línea recta PR, y al mismo tiempo es urgido por la acción de una fuerza centrípeta que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares con respecto al centro, el cuerpo se moverá en una de las secciones cónicas, teniendo su foco en el centro de fuerza, y al revés". (Newton, I., (1982), p. 294).

⁴⁵¹ Proposición XI. Problema VI. Sección III, Libro I.

"Si un cuerpo gira en una elipse: encuéntrase la ley de la fuerza centrípeta que tiende hacia el foco de la elipse". (Newton, I., (1982), p. 288).

⁴⁵² Newton, I., (1982), p. 683.

"Ya hemos considerado estos movimientos más arriba partiendo de los fenómenos. Ahora que se conocen los principios del movimiento, de ellos deducimos «a priori» los movimientos celestes. Puesto que los pesos de los planetas hacia el Sol son inversamente como los cuadrados de las distancias al centro del Sol, si el Sol reposase y los demás planetas no actuasen mutuamente entre ellos, sus órbitas serían elípticas, teniendo al Sol en el foco común, y describirían áreas proporcionales a los tiempos (por las Proposiciones I y XI y el Corolario I de la Proposición XIII del Libro I), pero las acciones de los planetas entre ellos son mínimas (de suerte que pueden despreciarse) y perturban menos los movimientos en elipses de los planetas en torno al Sol (por la Proposición LXVI del Libro I) que si tales movimientos se realizasen en torno a un Sol en reposo"⁴⁵³.

En el ejemplo anterior, llama la atención el método de demostración utilizado por Newton a lo largo de todo el Libro III, en el cual ya no es necesaria la herramienta matemática, dejando a la lógica el papel de, en el Sistema del Mundo, engarzar las demostraciones matemáticas generales realizadas en los dos primeros libros.

IV.3 Los absolutos Newtonianos

Entre las ideas que más controversias generaron, desde la aparición de los *Principia*, fueron las relativas al tiempo, lugar, espacio y movimiento absolutos⁴⁵⁴, las cuales se encuentran planteadas en el Escolio posterior a las definiciones. El propósito newtoniano, en dicho Escolio, no es el de definir estos conceptos, ya que de ser así formarían parte de las definiciones, sino de elucidar el sentido absoluto de los mismos, diferenciándolos de su utilización en un sentido relativo, dado que:

⁴⁵³ Newton, I., (1987), pp. 642-643.

Llama la atención en esta proposición, que después de lo señalado anteriormente, Newton realiza cálculos acerca de las perturbaciones que provocan unos planetas sobre otros, de forma tal que, por ejemplo, "... la diferencia de las fuerzas de gravedad del Sol hacia Saturno y de Júpiter hacia Saturno es a la fuerza de gravedad de Júpiter hacia el Sol como 65 a 156609 y también como 1 a 2409... La perturbación de las demás órbitas son aún más pequeñas, salvo la de la Tierra sensiblemente perturbada por la Luna. El centro común de gravedad de la Tierra y la Luna discurre por una elipse en torno al Sol situado en el foco de la misma y, con un radio trazado al Sol, describe en ella áreas proporcionales a los tiempos, pero la Tierra gira con un movimiento mensual en torno a dicho centro común". (Newton, I., (1987), pp. 642-643).

⁴⁵⁴ Curiosamente, la primera referencia relevante (en el contexto de este trabajo) acerca del movimiento absoluto, es de Galileo en el *Diálogo*, en el que al referirse a la contribución del movimiento diurno y el anual de la Tierra, como explicación para su teoría de las mareas, señala que: "... debe suceder que si se acopla el movimiento diurno con el anual, resulta un movimiento absoluto de las partes de la superficie... en este sentido, el movimiento absoluto -resultante de la composición de estos dos- es retardado". (Galilei, G., (1967), p. 427. El subrayado es mío).

En la jornada Cuatro del *Diálogo*, en la que Galileo plantea su muy desafortunada Teoría de las mareas, el planteamiento galileano se basa en la firme convicción de que el Sol, independientemente de su obvia rotación, se encuentra en un estado de reposo translacional absoluto.

"Tiempo, espacio, lugar y movimiento son palabras conocidísimas para todos. Es de observar, con todo, que el vulgo sólo concibe esas cantidades partiendo de la relación que guardan con las cosas sensibles. Y de ello surgen ciertos prejuicios, para cuya remoción será conveniente distinguir allí entre lo absoluto y lo relativo, lo verdadero y lo aparente, lo matemático y lo vulgar"⁴⁵⁵.

El sentido relacional que Newton le asigna al vulgo era, efectivamente, la posición sostenida por la gran mayoría de los intelectuales de la época, yendo desde los que preservaban, pese a todo, una visión aristotélica, hasta los cartesianos, que siguiendo al Descartes de los *Principia Philosophiae*, habían abandonado el absolutismo implícito en *Le Monde*⁴⁵⁶.

La condena, hecha por Descartes en sus *Principia*, de la idea de que el movimiento "... como es comúnmente interpretado no es otra cosa que la acción por la cual algún cuerpo viaja de un lugar a otro"⁴⁵⁷, es a lo que Newton está respondiendo en el Escolio, y su apelación a las creencias del vulgo parecen ser una especie de burla al "comúnmente interpretado" de Descartes. Newton, al voltear el argumento, ubica la opinión de Descartes entre las posiciones relativas, aparentes y vulgares⁴⁵⁸.

Dado que en el Escolio, Newton nunca hace referencia a Descartes, pudiera parecer que la afirmación anterior es algo temeraria, pero para confirmarla basta rastrear en los escritos newtonianos anteriores a los *Principia*, en particular en el *De Gravitatione et aequipondium fluidorum*, cuya redacción se suele ubicar entre 1664 y 1668. Este escrito empieza con un conjunto de definiciones en las que se plantea que:

- "Definición 1. Lugar es una parte del espacio el cual está lleno uniformemente por alguna cosa.
- Definición 2. Cuerpo es aquello que llena un lugar.
- Definición 3. Reposo es permanecer en el mismo lugar.
- Definición 4. Movimiento es cambiar de lugar"⁴⁵⁹.

⁴⁵⁵ Newton, I., (1982), p. 228.

⁴⁵⁶ Llama la atención que en *Le Monde*, Descartes plantea ideas absolutistas, que son consecuentes con sus leyes, mientras que el explícito relativismo de sus *Principia*, genera obvias dificultades con respecto a dichas leyes, pues si para describir el movimiento, se pueden escoger cualesquiera cuerpos referenciales, un cuerpo que se mueva con velocidad uniforme para un conjunto de cuerpos de referencia, no necesariamente lo hará para otros conjuntos seleccionados arbitrariamente.

⁴⁵⁷ En Barbour, J.B., (1989), p. 609.

⁴⁵⁸ Debido a las consecuencias teológicas de aceptar o no las ideas relativas o absolutas y la cercanía espiritual entre Newton y More, podría asegurarse que sería perfectamente posible que Newton estuviera de acuerdo con More, para el que la definición cartesiana del movimiento era repugnante a todas las facultades del alma, los sentidos, la imaginación y la razón. (cfr. Koyré, A., (1992), pp. 107-146).

⁴⁵⁹ Newton, I., (1978c), p. 122.

De las definiciones anteriores podemos observar como ya desde la década de los sesentas, los conceptos absolutos estaban prefigurados, y esto es así, por el hecho de estar respondiendo a los planteamientos de los *Principia* de Descartes, ya que como señala textualmente Newton, "... cuando supongo en estas definiciones que espacio es distinto de cuerpo, y cuando determino que el movimiento es con respecto a las partes de este espacio y no con respecto a la posición de los cuerpos vecinos, para que esto no sea tomado como gratuitamente contrario a los Cartesianos, me aventuraré a desprenderme de sus ficciones"⁴⁶⁰.

Tan la polémica es contra los *Principia* de Descartes, que a continuación del párrafo citado anteriormente, Newton pasa a resumir la doctrina cartesiana a través de tres proposiciones, las que son inmediatamente atacadas inmisericordemente, dadas sus inconsistencias, ya que:

"El filósofo es difícilmente consistente si usa como base de la Filosofía, el movimiento del vulgo, el cual él ha rechazado un poco antes, y ahora rechaza el movimiento que no se ajusta a nada, el cual anteriormente se dijo verdadero y filosófico, de acuerdo a la naturaleza de las cosas... él parece contradecirse a sí mismo cuando postula que a cada cuerpo le corresponde un único movimiento, de acuerdo con la naturaleza de las cosas; aún así él asegura que el movimiento será un producto de nuestra imaginación, definiéndolo como traslación respecto a los cuerpos vecinos los cuales no están en reposo sino sólo parecen estarlo..."⁴⁶¹.

Además, "... de sus consecuencias podemos ver que tan absurda es esta doctrina de Descartes"⁴⁶², ya que:

"De la Doctrina Cartesiana se sigue que el movimiento puede ser generado donde no hay fuerzas actuando. Por ejemplo, si Dios causara repentinamente que el giro de nuestro vórtice se parara, sin aplicar alguna fuerza a la Tierra, la cual podría detenerse al mismo tiempo, Descartes diría que la Tierra se está moviendo en sentido filosófico... mientras que antes él diría que estaba en reposo, en el mismo sentido filosófico"⁴⁶³.

A estas dificultades se suma el hecho de que el planteamiento relativista de Descartes, es incompatible con las propias leyes cartesianas del movimiento, en particular las relativas a la inercia, ya que no se podría hablar ni de movimiento uniforme ni de movimiento en línea recta pues en palabras de Newton, "... la absurdidad de esta posición debe ser mostrada en toda su dimensión, por lo que digo que de ella se sigue que un cuerpo en movimiento no tiene velocidad determinada y no se mueve en una línea definida. Y, lo que es peor, que la velocidad de un cuerpo moviéndose sin resistencia no puede decirse que sea uniforme, ni la línea en la que el movimiento se lleva a cabo sea recta. Por el

⁴⁶⁰ ibíd., p. 123.

⁴⁶¹ ibíd., pp. 124-125.

⁴⁶² ibíd., p. 126.

⁴⁶³ ibíd., p. 127.

contrario, no puede ser movimiento ya que no puede haber movimiento sin una cierta velocidad y determinación"⁴⁶⁴.

Una vez terminado este larguísimo⁴⁶⁵ y demoledor ataque de los conceptos cartesianos, Newton pasa a plantear sus propias ideas acerca del espacio, tiempo y movimiento absolutos.

Con respecto al espacio, Newton plantea que éste se extiende infinitamente en todas direcciones y si "... alguien objeta que nosotros no podemos imaginar que hay una extensión infinita, estoy de acuerdo. Pero al mismo tiempo, yo sostengo que podemos entenderlo. Nosotros podemos imaginar una gran extensión, y después, una mayor, pero entendemos que existe una extensión mayor que cualquiera que podamos imaginar. Y aquí, incidentalmente, la facultad del entendimiento es claramente diferente de la imaginación"⁴⁶⁶.

Para Newton, las partes del espacio están inmóviles, conectando esta inmovilidad con la duración pues "... como las partes de la duración derivan su individualidad de su orden, así (por ejemplo) si ayer pudiera cambiar lugares con hoy y llegar a ser el último de los dos, podría perder su individualidad y podría no ser más ayer, sino hoy; así las partes del espacio derivan su carácter de su posición, de tal manera que si cualesquiera dos pudieran cambiar sus posiciones, podría cambiar su carácter al mismo tiempo y cada una podría convertirse numéricamente en la otra. Las partes de duración y espacio sólo pueden ser entendidas como las mismas si ellas realmente son, debido a su orden y posición mutuos..."⁴⁶⁷.

En este sentido, todo lo que existe, lo hace en el espacio, y lo mismo sucede con la duración, pues ambos representan los atributos con respecto a los cuales referimos cualquier objeto, de forma que las posiciones, distancias y movimientos locales están, en última instancia, referidos a los absolutos espaciales y temporales.

Este espacio es "... eterno en duración e inmutable en naturaleza y esto es porque es el efecto que emana de un ser eterno e inmutable. Si el espacio no hubiera existido, Dios en ese momento tendría que haber estado en ningún lugar; y por lo tanto él, o creó el espacio más tarde (en el cual no estaba él mismo) o, lo que no es menos repugnante a la razón, creó su propia ubicuidad"⁴⁶⁸.

En esta parte, Newton inicia una larga digresión acerca de Dios, que muestra claramente la relación existente entre los conceptos absolutos newtonianos y su idea de Dios. Este punto es relevante pues aclara la peculiar

⁴⁶⁴ ibíd., p. 129.

⁴⁶⁵ En la versión de Hall y Hall del *De Gravitatione*, el análisis de los planteamientos cartesianos, abarca desde la página 123 hasta la 131.

⁴⁶⁶ Newton, I., (1978c), p. 134. El subrayado es mío.

⁴⁶⁷ ibíd., p. 136.

⁴⁶⁸ ibíd., p. 137.

estructura de los *Principia*, que engarza el primer Escolio (el de después de las Definiciones) relativo al espacio, tiempo y movimiento absolutos, con el Escolio General, dedicado casi íntegramente a Dios. La conexión entre ambos Escolios, hace una especie de pinza sobre los tres libros que componen los *Principia*, debiendo considerarse como el auténtico contexto en el que deben interpretarse los planteamientos científicos de la TI newtoniana.

Regresando al Escolio inicial de los *Principia*, la elucidación newtoniana está construida de forma tal que abandonando el tono polémico del *De Gravitatione*, empieza a discutir los aspectos relativos al tiempo, espacio, lugar y movimiento absolutos, en ese orden, pero sin finalizar la discusión acerca de cada uno de ellos, pues más adelante los retomará y combinará.

Con respecto al tiempo absoluto, Newton empieza señalando que éste también puede denominarse como verdadero y matemático y que "... en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo fluye uniformemente, y se dice con otro nombre duración"⁴⁶⁹. Se diferencia del relativo, aparente y vulgar en que éste "... es alguna medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo; hora, día, mes y año son medidas semejantes"⁴⁷⁰.

En la discusión ulterior, Newton plantea que el tiempo absoluto tiene un sustento empírico, ya que en Astronomía "... el tiempo absoluto se distingue del relativo por la ecuación, es decir, la corrección del tiempo aparente"⁴⁷¹. En este punto, Newton está haciendo referencia a la forma de operar de los astrónomos (desde Ptolomeo) que dada la desigualdad de los días naturales "... corrigen esa desigualdad para poder medir los movimientos celestes con un tiempo más veraz. Es posible que no exista un movimiento uniforme con el cual medir exactamente el tiempo. Todos los movimientos pueden ser acelerados o retardados, pero el flujo del tiempo absoluto no puede ser alterado. La duración o perseverancia de las cosas existentes permanece incambiada, siendo los movimientos rápidos, lentos o nulos, y por eso debe distinguirse esta duración de lo que son sólo medidas sensibles suyas, a partir de las cuales es deducida mediante la ecuación astronómica. La necesidad de esta ecuación para determinar los tiempos de un fenómeno se hace evidente tanto a partir de los experimentos del reloj de péndulo como a partir de los eclipses de los satélites de Júpiter"⁴⁷².

De lo anterior se puede entender por qué Newton empieza la discusión con el tiempo, a diferencia del *De Gravitatione* en el que el énfasis está en el espacio absoluto, y es por el hecho de que el metafísico tiempo absoluto se puede anclar en la experiencia, identificándolo con el tiempo astronómico, que no sólo no

⁴⁶⁹ Newton, I., (1982), p. 228.

⁴⁷⁰ ibíd., pp. 228-229.

⁴⁷¹ ibíd., p. 230.

⁴⁷² En 1672, Flamsteed hizo el primer estudio moderno de la ecuación del tiempo.

⁴⁷² ibíd., p. 230.

es metafísico sino que es un concepto práctico que se utiliza de manera cotidiana en los cálculos astronómicos.

El siguiente concepto que ataca Newton es el espacio absoluto, el cual "... tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil... El espacio absoluto y el relativo son idénticos en aspecto y magnitud, pero no siempre permanecen numéricamente idénticos; por ejemplo, si la Tierra mueve un espacio de nuestro aire, que relativamente y con respecto a la Tierra permanece siempre idéntico, el aire pasará en cierto momento por una parte del espacio absoluto y en otro momento por otra, con lo cual cambiará continuamente en términos absolutos"⁴⁷³.

En la discusión acerca del espacio absoluto, Newton plantea el problema de que "... como las partes del espacio no pueden verse o distinguirse unas de otras mediante nuestros sentidos, les aplicamos medidas sensibles. Pues por las posiciones y distancias de las cosas respecto de cualquier cuerpo que se considere inmóvil definimos todos los lugares; y luego calculamos todos los movimientos, usando como referencia esos lugares y considerando a los cuerpos transferidos de unos a otros"⁴⁷⁴.

De lo anterior se desprende que en la práctica "... usamos lugares y movimientos relativos en vez de absolutos, sin inconveniente alguno en los asuntos comunes..."⁴⁷⁵, pero introduciendo la salvedad de que "... en disquisiciones filosóficas debemos hacer abstracción de nuestros sentidos y considerar las cosas mismas, distinguiéndolas de sus medidas sensibles"⁴⁷⁶.

En la cita previa, Newton reitera su concepción, discutida con amplitud en *De Gravitatione*, de no considerar el espacio con respecto a los objetos, pero agregando, en el final de este párrafo, una limitante adicional al señalar que "... puede suceder que no haya cuerpo realmente en reposo, al cual referir los lugares y movimientos"⁴⁷⁷.

Dado que ese punto en reposo absoluto "... no puede determinarse partiendo de la posición de los cuerpos en nuestras regiones"⁴⁷⁸, únicamente lo podemos distinguir a partir de criterios dinámicos tales como "... sus propiedades, causas y efectos"⁴⁷⁹.

A decir de Newton, este método se aclarará a lo largo de los *Principia*, ya que ante la pregunta que se hace en el párrafo final del Escolio acerca de "... cómo habremos de deducir los verdaderos movimientos a partir de sus causas,

⁴⁷³ Newton, I., (1982), p. 229.

⁴⁷⁴ ibíd., p. 231.

⁴⁷⁵ ibíd., p. 231.

⁴⁷⁶ ibíd., p. 231.

⁴⁷⁷ ibíd., p. 231.

⁴⁷⁸ ibíd., p. 231.

⁴⁷⁹ ibíd., p. 231.

efectos y diferencias aparentes..."⁴⁸⁰ la respuesta es que eso "... será explicado más extensamente en lo que sigue"⁴⁸¹, para concluir el Escolio con una afirmación tajante:

"Con ese fin compuse el presente trabajo"⁴⁸².

Efectivamente, al analizar los *Principia* se puede entender con mayor claridad a qué se refiere Newton al plantear sus ideas de que pueda no existir algún cuerpo en reposo absoluto, ubicando éste en un punto que representaría el referente absoluto. En el Libro III, no obstante lo problemático que le resulta el término, aparece la Hipótesis Primera, en la que se señala:

"Que el centro del sistema del mundo está inmóvil"⁴⁸³.

De forma tal que ese punto en reposo es, a decir de Newton, el centro del Sistema del Mundo. En el comentario (o elaboración) a la hipótesis, las razones que se dan para este hecho son francamente pueriles, pues Newton señala que:

"Esto lo reconocen todos, aunque algunos sostienen que la Tierra y otros que el Sol, ocupan una posición fija en dicho centro"⁴⁸⁴.

Esta apelación democrática a que todos lo reconocen, introducida de manera hipotética, es una clara muestra del carácter *a priori* de la idea absoluta del espacio, que se confirma con el curioso jueguito de plantear, inmediatamente, y en conexión con la Hipótesis Primera, la Proposición XI. Teorema XI, en la que afirma:

"Que el centro común de gravedad de la Tierra, el Sol y todos los planetas está inmóvil"⁴⁸⁵.

De manera que ese referente absoluto es, efectivamente, un punto en el que no se ubica ningún cuerpo; ese punto es, a decir de Newton, el centro de gravedad del Sistema Solar.

Curiosamente, esta afirmación que debería haber sido hecha directamente en la Hipótesis Primera, es planteada como una proposición que es demostrada, al señalar que:

"Pues (por el Corolario IV de las leyes⁴⁸⁶) ese centro está en reposo o avanza uniformemente por una línea recta; pero si ese centro se moviera, el centro del mundo se movería también, lo que contradice la Hipótesis"⁴⁸⁷.

⁴⁸⁰ ibíd., p. 235. El subrayado es mío.

⁴⁸¹ ibíd., p. 235.

⁴⁸² ibíd., p. 235.

⁴⁸³ ibíd., p. 682.

⁴⁸⁴ ibíd., p. 682.

⁴⁸⁵ ibíd., p. 682.

El falso formalismo al que apela Newton en esta demostración, muestra a decir de Barbour "... una extraordinaria mezcla de sólida ciencia y geocentrismo residual que raya en la superstición"⁴⁸⁸, dado que lo único que en realidad Newton necesita para la contrastación entre teoría y datos observacionales, es la consideración de que las estrellas fijas se encuentran en reposo, lo cual señala de pasada y sin discutir, en los Fenómenos I, II y IV.

Regresando al Escolio, el tercer absoluto analizado por Newton es el lugar, el cual "... es la parte del espacio que un cuerpo ocupa, siendo relativo o absoluto en razón del espacio"⁴⁸⁹.

De forma tal que el lugar absoluto se refiere íntegramente al espacio y no me parece relevante su discusión.

El último absoluto, que este sí es fundamental, es el movimiento, el cual representa "... la traslación de un cuerpo desde un lugar absoluto a otro, y el movimiento relativo la traslación de un lugar relativo a otro. En un barco a toda vela el lugar relativo de un cuerpo es aquella parte del barco que el cuerpo posee, o aquella parte de la cavidad llenada por el cuerpo y que por eso mismo se mueve junto con el barco. El reposo relativo es la continuidad del cuerpo en el mismo lugar del barco o de su cavidad. Pero el reposo real, absoluto, es la continuidad del cuerpo en la misma parte de ese espacio inmóvil donde se mueve el barco mismo, su cavidad y todo cuanto contiene. Por lo cual, si la Tierra está realmente en reposo, el cuerpo que reposa relativamente en el barco se moverá real y absolutamente con la misma velocidad que el barco tiene sobre la Tierra. Pero si la Tierra se mueve también, el movimiento verdadero y absoluto del cuerpo surgirá en parte del verdadero movimiento de la Tierra en el espacio inmóvil, y en parte del movimiento relativo del barco sobre la Tierra; y si el cuerpo se mueve también relativamente en el barco, su verdadero movimiento surgirá en parte del verdadero movimiento de la Tierra en el espacio inmóvil, y en parte de los movimientos relativos tanto del barco sobre la Tierra como del cuerpo sobre el barco; y de esos movimientos relativos surgirá el movimiento relativo del cuerpo sobre la Tierra. Si la parte de la Tierra donde se encuentra el barco fuese movida verdaderamente hacia el Este con una velocidad de 10010 partes, mientras el barco mismo, con las velas desplegadas a un vendaval, es arrastrado hacia el Oeste con una velocidad expresada por 10 de esas partes, pero un marinero camina en el barco hacia el Este con 1 parte de la velocidad mencionada, este hombre será movido verdaderamente en el espacio inmovido hacia el Este a una velocidad de 10001

⁴⁸⁶ Corolario IV: "El centro común de gravedad de dos o más cuerpos no altera su estado de movimiento o reposo por las acciones de los cuerpos entre sí; por ello, el centro común de gravedad de todos los cuerpos interactuantes (excluyendo acciones externas o impedimentos) se encuentra o bien en reposo o moviéndose en línea recta". (Newton, I., (1982), p. 243).

⁴⁸⁷ Newton, I., (1982), p. 682.

⁴⁸⁸ Barbour, J.B., (1989), p. 643.

⁴⁸⁹ Newton, I., (1982), p. 229.

partes, y relativamente sobre la Tierra hacia el Oeste con una velocidad de 9 partes⁴⁹⁰.

En la discusión del movimiento absoluto, Newton introduce el elemento dinámico, las fuerzas, que nos permitirán distinguir los movimientos absolutos de los relativos ya que el "... movimiento verdadero no es generado ni alterado sino por alguna fuerza impresa en el mismo cuerpo movido, pero el movimiento relativo puede ser generado o alterado sin fuerza alguna impresa en el cuerpo. Basta imprimir alguna fuerza en otros cuerpos con los cuales se compara para que, cediendo ellos, pueda cambiarse la relación en que consistía el movimiento o reposo de ese otro cuerpo. Por su parte, el movimiento verdadero padece siempre algún cambio debido a cualquier fuerza impresa en el cuerpo que se mueve, pero el movimiento relativo no sufre necesariamente ningún cambio debido a tales fuerzas. Porque si se imprimen las mismas fuerzas en aquellos otros cuerpos con los cuales se hace la comparación, de manera que pueda preservarse la posición relativa, se preservará la relación que determina el movimiento relativo. Por consiguiente, cualquier movimiento relativo puede ser alterado cuando permanece inalterado el movimiento verdadero, y el relativo puede ser preservado cuando el verdadero sufre alguna alteración. De ahí que el verdadero movimiento no consista para nada en tales relaciones"⁴⁹¹.

Con este planteamiento, Newton, a diferencia de Descartes, deja en claro la congruencia existente entre su marco de referencia absoluto y sus leyes, en particular la primera, ya que para alterar un movimiento absoluto es necesaria la aplicación de una fuerza.

Como muestra de los efectos que permiten distinguir los movimientos absolutos de los relativos, Newton plantea el relativo a las fuerzas de alejamiento del eje en los movimientos circulares, pasando a ejemplificarlo con el caso de un cubo que cuelga de una larga cuerda, al que se le hace girar hasta retorcer la cuerda; luego se llena de agua y se coloca en reposo, empezando a girar de forma tal que se vaya desenroscando la cuerda, de manera que:

"La superficie del agua será lisa al principio, como antes de que el cubo empezara a moverse, pero a medida que el cubo empieza gradualmente a comunicar al agua su movimiento, ésta comenzará a girar visiblemente, a alejarse poco a poco del centro y a ascender por las paredes del cubo formando una figura cóncava (como he observado yo mismo), y cuanto más rápido se haga el movimiento más subirá el agua hasta que al final, realizando sus revoluciones en sincronía con el cubo, pasará a estar en reposo relativo con respecto de él. Este ascenso del agua muestra su esfuerzo por alejarse del eje de su movimiento, y el movimiento circular verdadero y absoluto del agua, que aquí es de dirección contraria al relativo, se hace conocido y puede ser medido mediante ese esfuerzo. Al principio, cuando era máximo el movimiento relativo del agua en el cubo, no

⁴⁹⁰ ibíd., pp. 229-230.

⁴⁹¹ ibíd., pp. 232-233.

producía esfuerzo por alejarse del eje; el agua no mostraba tendencia hacia la circunferencia, ni ascenso alguno por las paredes del cubo, sino que permanecía lisa y, en consecuencia, no se había iniciado aún su verdadero movimiento circular. Pero después, una vez decrecido el movimiento relativo del agua, su ascensión por las paredes del cubo probó su esfuerzo por alejarse del eje; y este esfuerzo mostraba el verdadero movimiento circular del agua, en incesante crecimiento hasta haber adquirido su máximo cuando reposaba relativamente en el cubo. Por consiguiente, este esfuerzo no depende de ninguna traslación del agua con respecto a los cuerpos circundantes, ni puede definirse mediante esa traslación el verdadero movimiento circular. Sólo hay un verdadero movimiento circular de cualquier cuerpo que gire sobre sí mismo, que corresponde a un único esfuerzo o conato por alejarse de su eje de movimiento como su propio y adecuado efecto; pero los movimientos relativos de un mismo cuerpo son innumerables, de acuerdo con las diversas relaciones que guarde con cuerpos externos, y esas relaciones carecen de efecto real alguno salvo que participen de ese único y verdadero movimiento circular⁴⁹².

Con este ejemplo, Newton plantea un tipo específico de absoluto, la aceleración absoluta, la cual es capaz de generar efectos observables. La estrategia newtoniana consiste en inferir, a partir de consecuencias observables, la existencia causal del espacio absoluto. En este caso, dado que la concavidad de la superficie del agua sólo puede ser explicada por la existencia de fuerzas centrífugas que actúan sobre el agua y no pueden ser el movimiento del agua respecto al cubo el origen de dichas fuerzas (pues cuando el cubo y el agua están en su movimiento relativo máximo, la superficie es plana, y se vuelve cóncava sólo cuando el agua está, otra vez, en reposo con respecto al cubo), Newton concluye que este efecto es el resultado de una rotación absoluta en el espacio⁴⁹³.

De acuerdo con la concepción newtoniana, el espacio absoluto no es, meramente, un contenedor, sino que es una entidad que tiene la capacidad de entrar en contacto causal con los objetos materiales⁴⁹⁴.

A decir de Newton, es "... difícilísimo descubrir y distinguir de modo efectivo los movimientos verdaderos y los aparentes de cuerpos singulares, porque las partes del espacio inmóvil donde se realizan esos movimientos no son observables por los sentidos. Con todo, esta pretensión no es enteramente desesperada; tenemos algunos indicios a seguir, en parte de los movimientos

⁴⁹² ibíd., pp. 233-234.

⁴⁹³ Aunque se podría pensar que el efecto observado se debe al movimiento relativo del agua y el laboratorio, relativo a la Tierra, es importante señalar que fenómenos como el achatamiento de la Tierra, el decrecimiento de la gravedad en el ecuador e incluso el péndulo de Foucault, el cual es de 1850, muestran que la causa está fuera de la Tierra y que la ocurrencia de fuerzas centrífugas es un fenómeno universal que no se puede deber a interacciones, con lo cual, aparentemente, no queda otro remedio que aceptar la existencia del espacio absoluto como su causa. (cfr. Born, M., pp. 78-85).

⁴⁹⁴ cfr. Sklar, L., (1992), pp. 19-23.

aparentes, que son las diferencias de los movimientos verdaderos, y en parte de las fuerzas que son las causas y los efectos de los movimientos verdaderos"⁴⁹⁵.

Como ejemplo de lo anterior, Newton plantea el caso de dos globos mantenidos a una cierta distancia mediante un hilo que los conecta. Si estos globos fuesen puestos a girar alrededor de su centro común de gravedad, se podría descubrir, mediante la tensión del hilo, "... el esfuerzo de los globos por alejarse de su eje de movimiento, y a partir de ello calcular la cantidad de sus movimientos circulares... De ese modo podríamos descubrir tanto la cantidad como la determinación de ese movimiento circular, incluso en una inmensidad vacía donde no hubiese nada externo o sensible con lo cual comparar a los globos"⁴⁹⁶.

De acuerdo con Newton, "... si en ese espacio estuviesen situados cuerpos remotos que mantuvieran siempre una posición dada entre sí, como sucede con las estrellas fijas en nuestras regiones, no podríamos determinar por la traslación relativa entre esos cuerpos si el movimiento pertenece a los globos o a los cuerpos. Pero si observásemos el hilo, y si descubriésemos que su tensión era exactamente la requerida por los movimientos de los globos, podríamos inferir que el movimiento está en los globos, y que los cuerpos están en reposo; y luego, por último, por la traslación de los globos entre los cuerpos descubriríamos la determinación de sus movimientos"⁴⁹⁷.

De lo anterior se desprende que la cantidad de movimiento circular es independiente de los cuerpos remotos siendo, de alguna manera, absoluta, ya que el movimiento responsable de las fuerzas no puede ser considerado como movimiento relativo a algún objeto natural, pero como el movimiento debe ser relativo a algo, ese algo es el espacio absoluto.

La pretensión newtoniana de ejemplificar empíricamente el tipo de criterios para poder hablar de movimiento absoluto es, al menos, parcial, ya que podría argumentarse que no es suficiente encontrar criterios para determinar el movimiento circular absoluto en algunos casos y generalizarlo para cualquier movimiento. El problema radicaría en que Newton plantea la dicotomía entre rotación y ausencia de ella, cuando lo que debería analizar es el de movimientos con aceleración o sin ella, representando las rotaciones un caso particular de un sistema acelerado.

Para Sklar, el planteamiento newtoniano es paradójico, pues acepta que el movimiento es con respecto a algún objeto (concepción relacional), pero como no hay objetos que puedan ser los responsables de las fuerzas que aparecen,

⁴⁹⁵ Newton, I., (1982), p. 235.

⁴⁹⁶ *ibíd.*, p. 235.

Como ha apuntado Cohen, llama la atención que la referencia newtoniana a "... el esfuerzo de los globos por alejarse de su eje de movimiento..." (*conatus recendi ab axe motus*), está tomada directamente de los *Principia* de Descartes. (cfr. Cohen, I.B., (1999), p. 107).

⁴⁹⁷ Newton, I., (1982), p. 235.

entonces la aceleración debe de ser con respecto a un objeto extraordinario, sustancial, el espacio absoluto. Es decir que Newton es, al mismo tiempo, relacional y sustancial. De acuerdo con Sklar, la verdadera evidencia dura de Newton es que aún si se rechaza la asociación entre fuerzas inerciales y absolutos inobservables, no se puede rechazar la conexión entre fuerzas inerciales y movimientos relativos observables⁴⁹⁸.

Estos ejemplos muestran que la doctrina newtoniana acerca del espacio absoluto, se basa en hechos concretos observables⁴⁹⁹ aunque todo el edificio

⁴⁹⁸ cfr. Sklar, L., (1974), pp. 182-191.

⁴⁹⁹ Los argumentos sustancialistas de Newton, cayeron como una auténtica bomba en el ámbito de los cartesianos, que mantenían la concepción relacional de Descartes ya que, en principio, tenían la obligación de contestar a los aparentemente simples y concluyentes argumentos newtonianos.

En 1715, Leibniz le escribió una carta a Carolina, Princesa de Sales, criticando las implicaciones filosóficas y teológicas de los planteamientos newtonianos. Clarke, amigo y discípulo de Newton, contestó a las acusaciones de Leibniz en un escrito a Carolina, la cual se lo envió a Leibniz. Estos dos escritos iniciaron la famosa correspondencia Leibniz-Clarke, a la cual se agregaron cuatro cartas más de cada uno de ellos.

En la primera carta de Leibniz, éste plantea el decaimiento de la Religión natural en Inglaterra y responsabiliza de ello a Locke y sobre todo a Newton. A decir de Leibniz, para Newton "... el espacio es un órgano, el cual usa Dios para percibir las cosas. Pero si Dios necesita de algún órgano para percibir las cosas, se sigue, que ellas no dependen enteramente de él, ni fueron producidas por él". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 11). Para Leibniz, la concepción sustancialista relativa al sensorio (al que hice referencia en el Capítulo III), limita la sabiduría y el poder de Dios. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), pp. 11-12)

Leibniz asegura, en su segunda carta, que de acuerdo con el newtonismo, si la actuación de Dios es supernatural, se requiere de milagros para explicar las cosas naturales y si es natural, entonces Dios debe ser el alma del mundo. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 20).

La tercera carta de Leibniz es utilizada por éste para plantear su posición relacional, confrontada con la sustancialista de Newton. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), pp. 25-27).

En la cuarta, Leibniz califica a la idea de espacio absoluto como "...idola tribus, meras quimeras e imaginaciones superficiales...". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 38).

En la repuesta de Clarke (a esta carta), que en general se ha movido siguiendo ortodoxamente los planteamientos de Newton, llama la atención que señale que el espacio "... no es una sustancia, sino una propiedad; y si es una propiedad la cual es necesaria, consecuentemente... existe más necesariamente... que aquellas sustancias que no son necesarias". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 47).

En esta misma carta, Clarke hace referencia a las pruebas aportadas por Newton, a las que Leibniz no ha contestado. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 48).

Leibniz contraataca, en su quinta carta, calificando a los absolutos como simples imaginaciones, que son destruidas por razones superiores (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 64) para, más adelante, asegurar que "No he encontrado nada en la Octava Definición de los *Principios Matemáticos de la Naturaleza*, ni en el Escolio correspondiente, que pruebe, o pueda probar, la realidad del espacio en sí mismo. Sin embargo, concedo que hay una diferencia entre movimiento absoluto verdadero y un mero cambio relativo en su situación con respecto a otro cuerpo. Pero cuando la causa inmediata del cambio está en el cuerpo, este cuerpo está verdaderamente en movimiento; y entonces la situación de otros cuerpos, con respecto a éste, cambiarán consecuentemente, aunque la causa de este cambio no está en ellos... hablando estrictamente, no hay ningún cuerpo, que esté, perfecta y enteramente, en reposo, pero nosotros construimos una noción abstracta del reposo, considerándola matemáticamente". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 74).

Evidentemente, Leibniz no tiene una respuesta satisfactoria a los ejemplos newtonianos, y en la quinta (y última) carta de Clarke, éste simplemente deja al juicio de los interesados el comparar directamente la respuesta de Leibniz, con lo dicho por Newton en los *Principia*. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 105).

A las críticas de Leibniz, habría que agregar las de Berkeley y Huygens, las cuales fueron igualmente insatisfactorias. (cfr. Sklar, L., (1974), pp.191-193).

A grandes rasgos, a decir de Max Born, el razonamiento newtoniano en torno a los absolutos "... ha sido considerado como válido desde la época de Newton, con sólo unos cuantos pensadores opuestos a ellos. Entre aquellos que cuestionaron la validez de estos argumentos estaba Ernst Mach". (Born, M., (1962), p. 84). Efectivamente, Mach en su famoso estudio sobre Mecánica, de 1883 (casi dos siglos después de la aparición de los *Principia*), planteó su desacuerdo acerca de los planteamientos absolutistas al señalar que "... Newton contradice la idea de tratar de investigar los hechos. Nadie puede decir algo sobre el espacio absoluto o sobre el movimiento absoluto, que no sean meras abstracciones sin manifestación posible en la experiencia. Todos nuestros enunciados fundamentales de la mecánica... son experiencias sobre posiciones y movimientos relativos de los cuerpos... Nadie está autorizado para extender esos enunciados fundamentales más allá de la experiencia... Pero mientras Galilei... elige de una manera totalmente natural la esfera de las estrellas fijas en reposo como un sistema de coordenadas, observamos en Newton dudas con respecto a si una estrella fija, está en reposo efectivo o sólo aparente... De ahí su preocupación en estudiar el concepto de espacio absoluto. Esforzándose cada vez más y más en esa dirección discute las experiencias de las esferas que giran unidas por un hilo y del vaso de agua que gira y cree que no se puede comprobar ninguna traslación absoluta, pero sí una rotación absoluta. Como tal entiende una rotación respecto de la esfera de las estrellas fijas, en la que puede siempre comprobarse la fuerza centrífuga". (Mach, E., (1949), p. 194).

Para Mach, si "... la tierra posee una rotación absoluta alrededor de su eje, aparecen en ella fuerzas centrífugas..." pero "... estos fenómenos desaparecen si la tierra está en reposo y son los otros astros los que se mueven absolutamente alrededor de ella, de tal manera que esta misma rotación llega a ser entonces relativa. Esto es sin duda así, siempre que de antemano tomemos como punto de partida la representación de un espacio absoluto. Pero si nos mantenemos en el terreno de los hechos, entonces no conocemos sino espacios y movimientos relativos... El sistema del universo no nos es dado dos veces, uno con la tierra en reposo y otro con la tierra en movimiento... Nosotros no podemos decir como serían las cosas si la tierra no girara. En cambio, podemos interpretar de diversas maneras el único caso que se nos ha dado. Pero si la interpretamos de una manera que incurre en contradicción con la experiencia, nuestra interpretación es simplemente falsa. Los principios fundamentales de la mecánica, pueden entonces ser concebidos también de manera tal, que se manifiesten fuerzas centrífugas en las rotaciones relativas". (Mach, E., (1949), p. 196).

Hasta este punto, Mach ha pretendido mostrar lo inadecuado de la estrategia newtoniana, con algunas cosas cuestionables como el rechazo a la inferencia inductiva acerca de la conducta de un mundo actual hacia un mundo posible, pero le falta dar una explicación alternativa a los ejemplos newtonianos, que es lo que hace a continuación al señalar que el caso del "... vaso de agua que gira, nos enseña simplemente que la rotación relativa del agua respecto de las paredes del vaso no despierta ninguna fuerza centrífuga efectiva, pero que ésta es, en cambio, provocada por la rotación de la tierra y de los demás astros... No tenemos, frente nuestro, sino una sola experiencia que debemos poner de acuerdo con el resto de los hechos que nos son conocidos, pero no con nuestras fantasías arbitrarias". (Mach, E., (1949), pp. 196-197).

El hecho observacional que usa Mach es que las estrellas fijas constituyen un marco inercial y las fuerzas inerciales se deben entender como acciones de todas las masas del universo y que el "... comportamiento de los cuerpos terrestres respecto de la tierra, se pueden reducir a su comportamiento respecto de los lejanos cuerpos celestes". (Mach, E., (1949), p. 197).

Mach reconoce que su concepción se "... aplica con la misma facilidad y choca con las mismas dificultades. En un caso no podemos llegar a concebir el espacio absoluto, en el otro nuestro conocimiento es accesible sólo a un número limitado de masas...". (Mach, E., (1949), p. 200).

conceptual del espacio, tiempo, y movimiento absolutos, pareciera ser innecesario, desde un punto de vista pragmático, cuando al avanzar sólo unas cuantas hojas más en los *Principia*, en el Corolario V posterior a las leyes, Newton plantea que:

"Los movimientos de los cuerpos incluidos en un espacio dado son idénticos entre sí, ya se encuentre ese espacio en reposo o moviéndose uniformemente en línea recta sin movimiento circular alguno"⁵⁰⁰.

La relación entre los absolutos newtonianos y el marco de referencia, indispensable para la descripción física, se analiza en la parte siguiente, que corresponde a las Leyes de Newton.

IV.4 Las Leyes de Newton

IV.4.1 Consideraciones generales

Las tres Leyes de Newton son consideradas, de forma prácticamente universal, como uno de los mayores logros científicos de todos los tiempos. Representan el punto culminante en la construcción de una dinámica que pivota en torno al concepto newtoniano de fuerza, liberando a la física de las incertidumbres discursivas derivadas de la falta de rigor conceptual. Hasta nuestros días y de manera independiente a los desarrollos más recientes, tales como la relatividad y la mecánica cuántica, en todas las currícula de la carrera de física, las Leyes de Newton se siguen enseñando a los estudiantes de física, como verdades intocables que permiten describir y resolver todos los problemas que caen dentro del mundo newtoniano al que la comunidad de los físicos ha rebautizado como la visión clásica de la mecánica, o más claramente mecánica clásica, entendida ésta como una disciplina⁵⁰¹.

Las Leyes de Newton, aparecen en los *Principia*, de manera curiosa para un lector desprevenido⁵⁰², al principio de la obra, en la Sección Básica a la que hice referencia con anterioridad, bajo el título de *Axiomata sive Leges Motus* que, como señala Cohen, "... parece ser una transformación consciente o inconsciente

La concepción machiana resulta tan especulativa como la newtoniana, y lo que logra, en el mejor de los casos, es quitarle el carácter concluyente que aparentemente poseía la explicación de Newton. Se podría decir que, hablando en términos deportivos, empata el marcador. Ahora se tienen dos opciones especulativas, el espacio absoluto y la interacción con objetos lejanos.

⁵⁰⁰ Newton, I., (1982), p. 245.

⁵⁰¹ A decir de Mach, Newton "... ha establecido en su forma definitiva, los principios de la mecánica, tal como hoy se aceptan. Después de él, no se ha expresado, en esencia, ningún principio nuevo, y todo lo que se ha realizado en la mecánica, no es sino el desarrollo deductivo, formal y matemático de la mecánica sobre la base de los principios newtonianos". (Mach, E., (1949), p. 159).

⁵⁰² Lo curioso del caso radica en el hecho de que ese lector desprevenido al que hago referencia, esperaría que las famosas Leyes de Newton aparecieran mucho más adelante en los *Principia*, como resultado de una construcción paulatina en la que se aportarían gran cantidad de elementos empíricos y conceptuales.

de las cartesianas *Regulae quaedam sive Leges Natura* de sus *Principia*⁵⁰³. Dado que ya desde el título de la obra, Newton había jugado a ser más preciso y menos general que Descartes, me parece evidente que las transformaciones de Reglas en Axiomas y de Leyes de la Naturaleza en Leyes de Movimiento, operan con el mismo patrón de obsesiva puntilliosidad que era una característica personal de Newton⁵⁰⁴.

La Sección Básica finaliza con el planteamiento de seis corolarios y un escolio, con los que termina por delinear su concepción dinámica, no carente de contradicciones y vaguedades, pero que no obsta para que, en palabras de Mach, pueda "... decirse que Newton ha descubierto de una manera relevante cuales eran los conceptos y los principios suficientemente seguros, como para edificar sobre ellos. Frente a sus contemporáneos y en parte debido a la dificultad y novedad del tema, se vio forzado a una representación muy detallada y en cierto modo fragmentaria, a consecuencia de la cual, por ejemplo una y la misma propiedad de los fenómenos mecánicos parece formulada varias veces. Pero en parte puede probarse que él mismo no tenía completamente claros el significado de sus principios y especialmente el conocimiento de sus orígenes. Pero de ningún modo este hecho arroja la más mínima sombra sobre su gran valor

⁵⁰³ Cohen, I.B., (1983), p. 204.

⁵⁰⁴ El nombre de Leyes de Movimiento, aparece ya desde un escrito de, probablemente, 1666, que no tiene nada que ver con las Leyes de Movimiento de los *Principia*. (cfr. Newton, I., (1978e), p. 157). Es hasta 1684, que en el tratado *De Motu*, del cual existen varias versiones, aparecen las dos primeras Leyes de Newton. En las primeras versiones de este tratado aparecen bajo el encabezado de Hipótesis (Hypotheses) y en la (posiblemente) última, escrita por un amanuense (seguramente Humphrey Newton), el encabezamiento es Leyes. En este escrito, Newton plantea cinco leyes, que a la letra dicen:

"Ley 1. Un cuerpo siempre irá uniformemente en una línea recta por su sola fuerza innata si nada lo impide.

Ley 2. El cambio del estado de movimiento o reposo es proporcional a la fuerza impresa y ocurre a lo largo de la línea recta en la cual se imprime.

Ley 3. Los movimientos relativos de los cuerpos encerrados en un espacio dado son los mismos si el espacio está en reposo o si se mueve perpetua y uniformemente en una línea recta sin movimiento circular.

Ley 4. El centro común de gravedad no altera su estado de movimiento o reposo por las acciones mutuas de los cuerpos. Esto se sigue de la Ley 3.

Ley 5. La resistencia de un medio es como la densidad de ese medio y como la superficie esférica del cuerpo en movimiento y su velocidad conjuntamente". (Newton, I., (1978a), pp. 267-268).

En el tratado *De motu corporum in mediis regulariter cedentibus* (cfr. Newton, I., (1965c), pp. 304-315), Newton plantea seis leyes, bajo el encabezamiento Leyes de Movimiento (*Leges Motus*), en que las tres primeras son esencialmente las tres leyes de Newton. (cfr. Cohen, I.B., (1978), pp. 59-66).

Ya en las *Lucasian Lectures*, que son los textos entregados en Cambridge, como parte de su labor profesional, aparece finalmente la forma nominativa de los *Principia*, es decir, Axiomas o Leyes de Movimiento (*Axiomata sive Leges Motus*), la cual se mantendrá en todas las ediciones de los *Principia*.

En un escrito denominado *On Motion In Ellipses*, que Newton le envió a Locke en marzo de 1690 (tres años después de la aparición de los *Principia*), aparecen tres hipótesis, siendo las dos primeras, versiones de las dos primeras leyes, mientras que la tercera se refiere al paralelogramo de fuerzas. (cfr. Newton, I., (1978f), p. 293).

intelectual. Quien tiene que alcanzar un nuevo punto de vista no puede naturalmente poseerlo de antemano, con la misma seguridad de quien luego recibe ese punto de vista sin esfuerzo. Bastante ha hecho si ha logrado encontrar verdades sobre las cuales otros puedan edificar. Pues toda nueva consecuencia, permite al mismo tiempo un nuevo examen, un nuevo control, una ampliación del horizonte, una aclaración del punto de vista"⁵⁰⁵.

A continuación se discute, puntualmente, el contenido de las tres leyes y su relación con los seis corolarios y el escolio.

IV.4.2 La Primera Ley de Newton

Bajo el encabezamiento de Axiomas o Leyes de Movimiento, Newton plantea la Ley Primera, que normalmente es conocida como Ley de la Inercia, no obstante que en el enunciado no se hace referencia alguna a la inercia, a diferencia de la Definición III en la que se habla, incorrectamente, de la fuerza (*vis insita*)⁵⁰⁶ y de la fuerza de inercia (*vis inertiae*)⁵⁰⁷ como un poder de resistencia responsable de que, como señala en el texto de la Primera Ley:

"Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas"⁵⁰⁸.

Para ejemplificar su planteamiento, Newton hace referencia a que los "... proyectiles perseveran en sus movimientos mientras no sean retardados por la resistencia del aire o impelidos hacia abajo por la fuerza de gravedad"⁵⁰⁹, así como al caso de "... una peonza, cuyas partes se ven continuamente apartadas de movimientos rectilíneos por su cohesión..."⁵¹⁰ la cual no cesaría de girar si no fuese retrasada por el aire" y al hecho de que los "... planetas y cometas, que encuentran menos resistencia en los espacios libres, preservan durante mucho más tiempo sus movimientos progresivos y circulares"⁵¹¹.

⁵⁰⁵ Mach, E., (1949), p. 210.

⁵⁰⁶ En *De Motu* y en *De motu corporum in mediis regulariter cedentibus*, sí se hace referencia, en el enunciado de la Ley 1, a la *vis insita*. (cfr. Cohen, I.B., (1978), pp. 63-64).

⁵⁰⁷ Inercia (*inertiae*) significa, literalmente, pereza, inactividad, indolencia. El término fue utilizado originalmente por Kepler para referirse a la tendencia de los cuerpos para oponerse al movimiento. Newton lo utilizó en sentido contrario, de permanencia en el estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme.

El propio Newton, en una anotación a su ejemplar de la Segunda Edición (usualmente denominado E₂) señala:

"No me refiero a la fuerza de inercia Kepleriana por la que los cuerpos se inclinan al reposo, sino a una fuerza de permanecer en el mismo estado de reposo o de movimiento". (En Cohen, I.B., (1978), p. 28).

⁵⁰⁸ Newton, I., (1982), p. 237.

⁵⁰⁹ *ibíd.*, p. 237.

⁵¹⁰ *ibíd.*, p. 237.

⁵¹¹ *ibíd.*, p. 237.

El hecho de que Newton no introdujera el término *vis inertiae* en el enunciado de la Primera Ley, ha sido muy afortunado para el desarrollo de la TI newtoniana, ya que ha permitido seguir formulando, hasta nuestros días, el planteamiento inercial sin mayores cambios conceptuales y sin entrar en aclaraciones respecto a la supuesta fuerza interna, que no se comporta, en sentido alguno, como una fuerza, lo cual, afortunadamente, pareciera ser claro incluso para Newton ya que nunca, a lo largo de los *Principia*, la manipula como tal. El problema conceptual de fondo es tan relevante que incluso un autor tan propenso a defender a Newton y a tapar los posibles defectos de su discurso, como Cohen, tiene que reconocer que "... la *vis insita* transformada en *vis inertiae*, es como una reliquia arqueológica que orienta al lector crítico hacia la prehistoria de un nuevo campo y hacia la continuidad en medio del cambio"⁵¹².

Aunque esta "reliquia arqueológica" no genera problemas mayores al interior de la estructura de los *Principia*, es una muestra de que Newton no estaba totalmente claro con el concepto de fuerza, representando un poderoso elemento distorsionador en la física de, incluso, el siglo XVIII. Fue Kant, en sus *Die metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaften (Fundamentos Metafísicos de la Ciencia Natural)* (1786), el que planteó que una fuerza que por sí misma no causa movimiento, sino sólo resistencia, representa un concepto sin sentido alguno, proponiendo el abandono de la *vis inertiae*, y postulando en su lugar una ley causal de la inercia, en la que plantea que cada cambio en el estado de movimiento es debido a una causa externa⁵¹³.

Lo que plantea Kant, un siglo después de la aparición de los *Principia*, es asumir lo que dice textualmente el enunciado de la Primera Ley y desechar la perturbadora y contradictoria Definición III de los *Principia*.

Siguiendo el consejo de Kant y regresando a lo que sí dice el enunciado de la Primera Ley, se puede encontrar que en éste hay dos aspectos, que se refieren a la rectilinearidad del movimiento y a la uniformidad del mismo. La

⁵¹² Cohen, I.B., (1983), p. 214. El subrayado es mío.

Otros autores, ubicados en el extremo opuesto, como Bechler, plantean que para Newton no existe diferencia ontológica entre las fuerzas externas y las internas y que de hecho, existen "... cierto tipo de transformaciones que convierten las fuerzas internas en externas y entonces disuelvan la aparente distinción ontológica entre ellas". (Bechler, Z., (1992), p. 299). Para Bechler, la fuerza centrífuga es la reacción a la inercia (en el sentido de la Tercera Ley), de forma tal que, para este autor, la Primera Ley es la definición de las fuerzas internas, la Segunda Ley es la definición de las fuerzas externas y la Tercera Ley representa la conversión de fuerzas internas en externas. (cfr. Bechler, Z., (1992), pp. 300-301).

Aunque el planteamiento de Bechler me parece descabellado y sin sustento, es importante señalar la existencia de tales argumentos.

Por el contrario, llama la atención que un físico tan renombrado como Chandrasekhar, en su análisis de los *Principia*, no hace comentario alguno a la utilización de la palabra *vis* al referirse a la inercia (en la parte correspondiente a la Definición III). (cfr. Chandrasekhar, S., (1995), pp. 18-19). Al analizar la Primera Ley, el defecto que le encuentra es el relativo a la falta de precisión en lo que se refiere a la utilización de la palabra cuerpo.

⁵¹³ cfr. Jammer, M., (1961), pp. 81-84.

primera tiene su referente en el espacio absoluto mientras que la segunda lo tiene en el tiempo absoluto, de forma tal que, a través de la Primera Ley, se trasciende el carácter especulativo introducido en el Escolio a las Definiciones, al plantear las condiciones físicas que debe cumplir un marco de referencia inercial, sin el que sería imposible establecer tanto a la Segunda como a la Tercera Leyes de Newton.

Al plantear la Primera Ley, se cuenta con las características físicas generales que debe de tener cualquier sistema inercial y en consecuencia los conceptos absolutos se vuelven, pragmáticamente, irrelevantes, ya que aunque se puede (y tal vez se debe, de acuerdo a Newton) interpretar a un marco de referencia inercial como aquel que está en reposo en el espacio absoluto o que se mueve uniforme y rectilíneamente con respecto a él, también se puede interpretar (y de hecho es lo que se hace en la gran mayoría de los cursos de física, independientemente de su nivel) al marco de referencia inercial como aquél en el que se cumplen las Leyes de Newton, haciendo caso omiso de los conceptos absolutos⁵¹⁴.

En franca conexión con la Primera Ley, Newton plantea los Corolarios IV y V. En el Corolario IV se señala que:

"El centro común de gravedad de dos o más cuerpos no altera su estado de movimiento o reposo por las acciones de los cuerpos entre sí, por ello, el centro común de gravedad de todos los cuerpos interactuantes (excluyendo acciones externas e impedimentos) se encuentra o bien en reposo o moviéndose uniformemente en una línea recta"⁵¹⁵.

Evidentemente, el sentido de este corolario es el de generalizar el planteamiento de la Primera Ley, al centro de gravedad de cualesquiera número de cuerpos, el cual es el que no altera su estado (de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme) a menos que se aplique una fuerza externa al sistema formado por dichos cuerpos.

Este planteamiento posibilita el análisis de un sistema de N partículas, como si fuera una sola partícula ubicada en el centro de gravedad del sistema⁵¹⁶.

⁵¹⁴ De hecho, los absolutos newtonianos, que generaron una gran discusión en la época de Newton, fueron poco a poco relegados en la evolución de la TI newtoniana, recuperando algo de su vigencia ante la aparición de la teoría de la relatividad, que enfatiza el carácter no absoluto de los parámetros físicos y que pone de relieve el problema de la inconmensurabilidad al comparar la TI newtoniana con la TI einsteniana, ya que como apuntan Kuhn (cfr. Kuhn, T.S., (1971), pp. 162-165) y Feyerabend (cfr. Feyerabend, P.K., (1975), pp. 118-133), nos encontramos ante un auténtico problema de cambio semántico entre dos planteamientos que mantienen su vigencia discursiva.

⁵¹⁵ Newton, I., (1982), p. 243.

⁵¹⁶ En la reformulación de Maxwell de la mecánica clásica, planteada en su libro *Matter and Motion* (1877), el enunciado de la Primera Ley dice:

Dado que este corolario no es tan evidente como podría serlo la Primera Ley, Newton lo discute con cierta amplitud, planteando que: "... si dos puntos progresan con un movimiento uniforme en líneas rectas, y su distancia es dividida por una razón dada, el punto divisorio estará o bien en reposo o moviéndose uniformemente siguiendo una línea recta. Esto se demuestra más adelante en el Lema XXIII y su Corolario, cuando los puntos se mueven en el mismo plano, y por un razonamiento semejante puede demostrarse cuando los puntos no se mueven en el mismo plano. Por consiguiente, si cualquier número de cuerpos se mueven uniformemente en líneas rectas, el centro común de gravedad de dos cualesquiera de ellos se encuentra o bien en reposo o progresa uniformemente en línea recta... De modo semejante el centro común de los tres, y de un cuarto cuerpo, es dividido también por una razón dada, y así hasta el infinito. Por consiguiente, en un sistema de cuerpos donde no hay acción mutua alguna entre los cuerpos ni fuerza ajena impresa... el centro común de gravedad para todos ellos está en reposo o progresa uniformemente en línea recta"⁵¹⁷.

En esta demostración, llama la atención que Newton demuestra la validez del corolario para un sistema de muchos cuerpos que no interactúan, partiendo de un resultado que todavía no ha sido demostrado (el Lema XXIII).

A continuación, Newton ataca el problema de cuerpos que interactúan, empezando con la interacción de dos cuerpos, mostrando que como "... las alteraciones de los movimientos son iguales y dirigidas hacia partes contrarias, el centro común de esos cuerpos, debido a su acción recíproca, no es acelerado ni retardado, ni sufre cambio alguno en su estado de movimiento o reposo"⁵¹⁸. Newton está apelando a la Tercera Ley aunque, a diferencia de lo que hace a lo largo de toda la obra, no lo dice explícitamente.

Newton extiende este resultado a un sistema de más de dos cuerpos, bajo la suposición de que todas las interacciones se reducen a interacciones entre pares de cuerpos, ya que "... todas las acciones de los cuerpos entre sí o bien acontecen entre dos cuerpos o están compuestas por acciones intercambiadas entre dos cuerpos y, por tanto, nunca producen ninguna alteración en el centro común de todos en cuanto a su estado de movimiento o reposo"⁵¹⁹.

De lo anterior se desprende el hecho de que la suma de las fuerzas internas de un sistema es siempre cero ya que, en el fondo, todo el análisis se puede reducir a una pareja acción-reacción, con igual magnitud y sentido contrario, de acuerdo con la Tercera Ley, para concluir:

"El centro de masa del sistema, persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, excepto en el caso en que se haga cambiar el estado por fuerzas que actúen en el sistema". (En Chandrasekhar, S., (1995), p. 41).

Como se puede observar, la reformulación maxwelliana de la Primera Ley, representa una simple reescritura del Corolario IV.

⁵¹⁷ Newton, I., (1982), pp. 243-244.

⁵¹⁸ ibíd., p. 244.

⁵¹⁹ ibíd., p. 245.

"De ahí que la misma ley se aplique a un sistema formado por muchos cuerpos tanto como en un cuerpo único... Porque el movimiento progresivo -sea de un solo cuerpo o de todo un sistema de cuerpos- debe siempre calcularse partiendo del movimiento del centro de gravedad"⁵²⁰.

En el Corolario V, que también tiene una estrecha relación con la Primera Ley, Newton plantea que:

"Los movimientos de los cuerpos incluidos en un espacio dado son idénticos entre sí, ya se encuentre ese espacio en reposo o moviéndose uniformemente en línea recta sin movimiento circular alguno"⁵²¹.

En el enunciado de este corolario, Newton está planteando el principio de invarianza (relatividad) galileana⁵²², según el cual los marcos de referencia inerciales son indistinguibles, como Newton reconoce al asegurar en el comentario (o elaboración) que se tiene "... una prueba clara de esto en el experimento de un barco, donde todos los movimientos acontecen del mismo modo estando en reposo o siendo movido uniformemente en línea recta"⁵²³. Este planteamiento es de la mayor importancia pues muestra claramente el hecho de que independientemente de que Newton defienda la existencia de un espacio absoluto; éste, en caso de existir, sería indistinguible de la familia de espacios inerciales que se encuentren en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme con respecto a dicho espacio absoluto.

La concepción monárquica del espacio absoluto se diluye en la concepción democrática de la familia de marcos de referencia inerciales.

IV.4.3 La Segunda Ley de Newton

La Segunda Ley ha sido considerada, prácticamente desde la aparición de los *Principia*, hasta nuestros días, como el planteamiento más relevante de Newton y en torno al cual gira toda la dinámica newtoniana. Incluso en textos que se usan actualmente en la carrera de física se plantea, incorrectamente, que la Primera Ley es un simple caso particular de la Segunda. Como ejemplo de lo anterior, basta ver el libro *Física* de Reimann en el que se señala que:

"El enunciado de la primera ley es formalmente innecesario, ya que es el caso particular (fuerza cero) de la segunda ley. Sin embargo se justifica que

⁵²⁰ ibíd., p. 245.

⁵²¹ ibíd., p. 245.

⁵²² La relación existente entre la Primera Ley y el principio de invarianza galileana es tal que cuando Moulines plantea en *Exploraciones metacientíficas*, la reconstrucción estructural de la mecánica clásica de partículas y no incluye entre los axiomas básicos del predicado conjuntista a la Primera Ley, necesita recurrir más adelante al principio de invarianza (relatividad) galileana como una condición de ligadura (*constraint*). (cfr. Moulines, U., (1982), pp. 79-82).

⁵²³ Newton, I., (1982), p. 245. El subrayado es mío.

Newton la haya enunciado ya que todos creían en su época, que se requería de una fuerza para mantener el movimiento"⁵²⁴.

Un texto tan prestigiado como el *P.S.S.C.* señala que:

"Lo que aquí llamamos ley de Newton es lo que con frecuencia se llama su segunda ley, y el principio de inercia de Galileo, que es un caso especial de la ley general, a veces es llamado primera ley de Newton..."⁵²⁵.

Estas corrupciones que, en aras de la formalidad, bloquean el aporte conceptual de la Primera Ley, son una muestra del carácter hipnótico que ha ejercido la Segunda Ley en la construcción del canon de la física clásica⁵²⁶.

Igualmente, en otros ámbitos, la importancia de la Segunda Ley, ha llevado a autores como Nagel a plantear que "... frecuentemente se considera el segundo axioma no como una afirmación acerca de las condiciones en las cuales se producen aceleraciones, sino como una formulación compacta de una guía especial para la investigación... el segundo axioma, considerado como principio regulador, ha sido sumamente fecundo para guiar la construcción de un cuerpo sistemático de conocimiento bien fundado..."⁵²⁷.

Esta relevancia especial de la Segunda Ley, ha sido señalada con mucha precisión por Moulines que ha planteado, refiriéndose al concepto de fuerza y la Segunda Ley, que son "... algo así como las condiciones de posibilidad de toda mecánica"⁵²⁸. Para este autor, la Segunda Ley es un principio guía que representa "... un paradigma de paradigmas en un doble sentido: en primer lugar, juega el papel más esencial (el más <<paradigmático>> si se quiere) dentro del paradigma que llamamos <<mecánica clásica>>; en segundo lugar, el análisis de la forma y función del Segundo Principio puede resultar metodológicamente paradigmático en el sentido de que en otras teorías pueden aparecer principios-guía de naturaleza semejante..."⁵²⁹.

La extrema valoración de la Segunda Ley, con la que estoy en general de acuerdo, aunque tal vez por razones diferentes, alcanza su punto culminante en autores de signo contrario a los anteriores, al elevarla a cimas cuasipoéticas, como se puede observar en Bachelard, al señalar que:

"Cuando la mecánica de Newton se instituye sobre la ecuación fundamental de la dinámica, uniendo la masa, la fuerza y la aceleración, ¿no deja

⁵²⁴ Reimann, A. L., (1974), p. 149. El subrayado es mío.

⁵²⁵ *P.S.S.C.*, (1965), p. 328. El subrayado es mío.

⁵²⁶ Podría decirse que así como, a nivel popular ilustrado, el nombre de Einstein, lo primero que trae a la mente es $E=mc^2$, el nombre de Newton conduce primero a una manzana y después a **F=ma**.

⁵²⁷ Nagel, E., (1968), pp. 184-185. El subrayado es mío.

⁵²⁸ Moulines, C.U., (1982), p. 94.

⁵²⁹ *ibíd.*, p. 102.

de lado todo el pasado de irracionalidad ligado a la idea de fuerza? Cuando se llevan a cabo, en su rigor los lazos matemáticos de los tres conceptos científicos: masa, fuerza, aceleración, ya no hay por qué preguntarse cual es el concepto primero"⁵³⁰.

Basándose en lo anterior y observando la importancia que se le asigna a la expresión $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$, llama la atención que al leer los *Principia*, en la parte que corresponde al enunciado newtoniano del Segundo Axioma ó Ley de Movimiento, no se encuentra esta popularísima expresión y en lugar de ella, Newton diga:

"El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza"⁵³¹.

Por supuesto que, en detrimento de lo que Newton dice, y a favor de lo que todos sabemos que debe decir, autores tan reconocidos en el ámbito científico, como Chandrasekhar, pueden explicarnos que este enunciado en "... terminología corriente establece:

Fuerza = cambio en movimiento
= cambio en [masa x velocidad]
= masa x cambio en velocidad
= masa x aceleración"⁵³².

El planteamiento de Chandrasekhar es sorprendente por su ingenuidad ya que se aferra a ver en el texto de Newton lo que no está en él. Para que el cambio en la velocidad se pueda interpretar como aceleración, es necesario introducir al elemento tiempo y éste no se encuentra en el enunciado y considerarlo como obvio va en contra de la forma de escribir del propio Newton que utiliza, en las Definiciones VII y VIII (como vimos con anterioridad) la expresión "... en un tiempo dado"⁵³³.

Es tan evidente que lo que Newton dice es $\mathbf{F} = \Delta\mathbf{P}$ que incluso Cohen reconoce que "... el segundo [axioma] es una versión de lo que hoy día se conoce como la <<segunda ley de Newton>>..."⁵³⁴. Para Cohen, la elucidación de este hecho, debe partir de lo que Newton plantea en el comentario (o elaboración) a la ley, en la que señala que:

⁵³⁰ Bachelard, G., (1973), pp. 102-103.

⁵³¹ Newton, I., (1982), p. 237.

⁵³² Chandrasekhar, S., (1995), p. 23.

⁵³³ cfr. Newton, I., (1982), pp. 226-227.

Como señalé en el análisis correspondiente a la Definición VIII, es en ella donde Newton si plantea $\mathbf{F} = \Delta\mathbf{p}/ \Delta t$ (con $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$) y es en el comentario (o elaboración) de dicha definición, en la que plantea $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. El problema con esta definición es que en ella, Newton se está refiriendo, específicamente, a la fuerza centrípeta.

⁵³⁴ Cohen, I.B., (1983), p. 203. El subrayado es mío.

"Si una fuerza cualquiera genera un movimiento, una fuerza doble generará el doble del movimiento, una triple el triple, tanto si la fuerza es impresa entera y a la vez como si lo es gradual y sucesivamente"⁵³⁵.

De forma tal que cuando Newton se refiere a una fuerza motriz que se imprime de una vez o por grados sucesivos como varios golpes cuyo efecto sería el de un golpe único, de lo que está hablando es de una fuerza impulsiva (ϕ) que actúa de forma discreta (no continua) y para la que se cumple que $\phi = \Delta mv$, mientras que para el caso de fuerzas continuas lo que se tiene es que $\mathbf{F} = \Delta \mathbf{p}/\Delta t$.

La equivalencia entre la Segunda Ley para el caso de fuerzas discretas y para el de fuerzas continuas (la cual nunca es enunciada explícitamente por Newton), vendría dada, a decir de Cohen⁵³⁶, por la concepción newtoniana del tiempo, en términos de su Teoría de Fluxiones⁵³⁷, que le permitió plantear la transición de una sucesión de impulsos que actúan continuamente a una fuerza continua, de forma tal que éstas pueden verse como una "... suma de golpes individuales cuyos efectos totales se componen matemáticamente en el límite"⁵³⁸.

En el planteamiento del Axioma o Ley Segunda, Newton, efectivamente está pensando en fuerzas discretas, en particular en colisiones, lo cual es evidente por lo que señala en el Escolio posterior a las Leyes, en el que asegura que Wallis, Huygens y Wren han empleado sus leyes en el tratamiento del problema del impacto, en el que efectivamente han usado $\phi = \Delta mv$ ⁵³⁹. Sin embargo, cuando Newton ataca fuerzas continuas utiliza $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, como una generalización válida y evidente. Por ello, en la Definición VIII, en la que se está refiriendo a una fuerza continua (la fuerza centrípeta) habla de $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ con la mayor naturalidad. De igual manera, y sólo como un ejemplo, en la Proposición XXIV. Teorema XIX del Libro Segundo señala, en relación con el movimiento de los cuerpos pendulares, que:

"Pues la velocidad que una fuerza dada puede generar en una materia dada y un tiempo dado es directamente proporcional a la fuerza y al tiempo e inversamente proporcional a la materia"⁵⁴⁰.

Es notable observar cómo Newton usa consistentemente las dos Segundas Leyes, para los casos discretos en los que el factor tiempo es irrelevante y los continuos en los que no lo es, pero hablando, en ambos casos, de fuerzas, sin percatarse del problema conceptual que genera. Incluso, parecería extraño que, con todo y su aparente confusión, no entronizara en el enunciado de la Segunda Ley, la correspondiente al caso continuo que, obviamente, es más

⁵³⁵ Newton, I., (1982), p. 237.

⁵³⁶ No obstante la diferencia, incluso dimensional, entre ϕ y \mathbf{F} .

⁵³⁷ cfr. Cohen, I. B., (1983), pp. 194-197.

⁵³⁸ Cohen, I. B., (1983), p. 196.

⁵³⁹ cfr. Newton, I., (1982), p. 247.

⁵⁴⁰ ibíd., p.553.

Lo que Newton dice es que $\Delta v \propto \mathbf{F}\Delta t/m$ o lo que es lo mismo $\mathbf{F} \propto m\mathbf{a}$.

general. La única razón que se me ocurre para responder a este problema es que Newton no logra emancipar al concepto de fuerza de su propia historia y dado que proviene del análisis de los impactos, el planteamiento se refiere a ellos, aunque ya esté hablando de atracciones y repulsiones, debidas a fuerzas continuas.

Pareciera ser que Newton, siguiendo su planteamiento metodológico, quisiera partir de lo empíricamente evidente, de la física conocida, de la física de las colisiones, para llegar a la descripción de lo no evidente, la física de lo desconocido, la física de la gravedad⁵⁴¹.

La Segunda Ley (en el sentido no explícito) permite, por un lado, definir el concepto de fuerza, proveyendo el mecanismo para cuantificarla, y por otro, la posibilidad de usar este concepto para atacar cualquier situación dinámica en la que se modifica un estado inercial. En palabras de Moulines, la Segunda Ley representa "... la promesa de que si buscamos los parámetros dinámicos adecuados y una apropiada relación funcional entre todos ellos, al final obtendremos una ecuación dinámica para cada situación mecánica específica"⁵⁴². Las primeras promesas cumplidas a cabalidad por la dinámica newtoniana fueron la solución de los grandes problemas de la mecánica racional del siglo XVII: movimiento uniformemente acelerado, impacto y movimiento curvilíneo.

En relación con la Segunda Ley, Newton plantea los Corolarios I, II y VI. Los dos primeros representan la especificación del carácter vectorial de las fuerzas y la manera en que deben de ser tratadas, mientras que en el Corolario VI, Newton plantea que:

"Si cuerpos movidos de cualquier manera entre sí son impulsados por fuerzas acelerativas iguales siguiendo líneas paralelas, continuarán todos moviéndose entre sí como si no hubiesen sido impulsados por esas fuerzas"⁵⁴³.

Como se señaló en la discusión de la Definición VIII, por fuerza acelerativa debe de entenderse aceleración y este corolario implica que las Leyes de Newton funcionan, incluso, en el caso de algunos marcos de referencia acelerados. A decir de Barbour, Newton "... presumiblemente lo incluye [el corolario], como una buena primera aproximación al sistema Tierra-Luna en el campo gravitacional del Sol y especialmente... para Júpiter y su sistema de lunas"⁵⁴⁴. Esto es de la mayor relevancia para la solución de problemas, pues posibilita el uso del andamiaje

⁵⁴¹ Tal vez Newton tenía conciencia o intuía que el paso de las fuerzas discretas a las continuas no iba a ser una píldora fácil de tragar y decidió vender la idea de que la Segunda Ley ya era un resultado conocido (por Galileo, Huygens, Wren y Wallis), de manera que pudiera pasar por la puerta de atrás el auténtico planteamiento revolucionario, sin mayores críticas. A fin de cuentas es lo que hizo, de alguna manera, con el concepto de masa, que aunque no lo define con claridad, es el elemento central para poder vincular a las fuerzas con los efectos que producen.

⁵⁴² Moulines, C.U., (1982), p. 106.

⁵⁴³ Newton, I., (1982), p. 246.

⁵⁴⁴ Barbour, J.B., (1989), p. 578.

teórico newtoniano en sistemas no inerciales, abriendo el abanico de aplicabilidad hacia prácticamente cualquier problema mecánico.

IV.4.4 La Tercera Ley de Newton

La Tercera Ley de Newton viene a completar el marco descriptivo planteado a partir de la Primera y Segunda leyes, al introducir la idea de interacción mutua entre los cuerpos. Su origen se remonta no al tratado original *De Motu*, sino a la versión corregida *De motu corporum in mediis regulariter cedentibus*, en la que Newton señala que:

"Sobre todo cuerpo actúa una reacción de la misma magnitud que la acción que él ejerce sobre otro"⁵⁴⁵.

Esta versión fue modificada a partir de las *Lucasian Lectures*, para arribar al enunciado definitivo de los *Principia*, en los que Newton señala:

"Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias"⁵⁴⁶.

En el enunciado de esta ley, llama la atención que Newton no se refiere a las fuerzas⁵⁴⁷, prefiriendo utilizar los términos acción y reacción. El vocablo acción aparece en la Tercera Ley, habiéndose utilizado únicamente tres veces con anterioridad, cuando al referirse, en la Definición IV, a la fuerza impresa, la define como "... la acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado..."⁵⁴⁸ y en el comentario (o elaboración) a dicha definición, en el que señala que esta "... fuerza consiste sólo en la acción, y no permanece en el cuerpo cuando la acción concluye"⁵⁴⁹. De tal uso del término acción puede inferirse que Newton lo usa como sinónimo de fuerza, recalcando el hecho de significar un principio activo responsable de los cambios de estado de un sistema. Sin embargo, al avanzar sólo un poco en los *Principia*, nos encontramos que en el Escolio posterior a las leyes y haciendo referencia a la Tercera Ley, Newton señala que "... si calculamos la acción del agente partiendo del producto de su fuerza por su velocidad, y de modo semejante la reacción del impedimento partiendo del producto de las

⁵⁴⁵ En Cohen, I.B., (1978), p. 65.

⁵⁴⁶ Newton, I., (1982), p. 238.

En la *Astronomía nova* se puede encontrar una sorprendente anticipación al postulado newtoniano, cuando Kepler postula que la "... Gravedad es una propensión mutua de los cuerpos para unirse o juntarse... así la tierra atrae a la piedra tanto como la piedra se dirige hacia la tierra...". (En Barbour, J.B., (1989), p. 334).

⁵⁴⁷ Hellingman sostiene que Newton usa el término acción y no el de fuerza, para no crear problemas con la *vis inertiae*, que aunque Newton la plantea como fuerza (*vis*), no tiene una reacción igual y de sentido contrario. (cfr. Hellingman, C., (1992)).

⁵⁴⁸ Newton, I., (1982), p. 224. El subrayado es mío.

⁵⁴⁹ *ibíd.*, p. 224. El subrayado es mío.

velocidades de sus diversas partes por las fuerzas de resistencia surgidas de la fricción, cohesión, peso y aceleración de esas partes, se descubrirá siempre que en el uso de todo tipo de máquinas la acción y la reacción son siempre iguales entre sí"⁵⁵⁰.

De la cita anterior surge la duda de cómo está entendiendo Newton la fuerza a la que hace referencia, sí como Δmv o como ma . En caso de ser como Δmv , por tratarse del caso de una fuerza discreta, llama la atención que la acción, definida como la fuerza por la velocidad, vendría dada por $v \cdot \Delta mv$, que para el caso de masa constante sería $mv \cdot \Delta v$, que es una expresión que tiene un extraordinario parecido a la *vis viva* leibniziana (y al cambio de lo que conocemos como energía cinética).

En caso de interpretarse la fuerza en el sentido de masa por aceleración, lo que se tendría es que la acción vendría definida como $ma \cdot v$, que podría describirse como $ma \cdot \frac{\Delta r}{\Delta t}$ que, en sentido moderno, sería el trabajo realizado por unidad de tiempo, que es lo que hoy en día se conoce como potencia. Esta es una interpretación que tiene a su favor el hecho de que el concepto de potencia surgió, históricamente, de las necesidades de conceptualizar la operación de las máquinas.

Como una muestra más de que el uso del término acción es más en sentido genérico (intuitivo) que riguroso (de precisión cuantitativa), basta ver *De mundi systemate liber Issaci Newtoni* en el que Newton plantea:

"Y aunque las acciones mutuas de dos planetas podrían distinguirse entre sí y ser consideradas como dos acciones mediante las cuales cada uno atrae al otro, sin embargo, en tanto que son intermedias, no son dos, sino una operación simple entre dos términos... La causa de la acción es doble... pero en tanto que es entre dos cuerpos, es simple y única. No es una la operación por la que el Sol atrae por ejemplo a Júpiter y otra operación aquélla por la que Júpiter atrae al Sol, sino una operación por la que el Sol y Júpiter intentan acercarse entre sí, por la acción por la que el Sol atrae a Júpiter intentan Júpiter y el Sol acercarse entre sí (por la Tercera Ley) y por la acción por la que Júpiter atrae al Sol, intentan también Júpiter y el Sol acercarse mutuamente... hay una sola acción intermedia por la que ambos tienden uno hacia el otro"⁵⁵¹.

Independientemente de la imprecisión relativa al término acción, que incluso está íntimamente vinculada con la existencia de dos versiones para la Segunda Ley, la relevancia de la Tercera Ley es innegable, pues introduce la idea de interacción mutua entre cuerpos materiales como responsable de los fenómenos observables, que aunque hoy en día nos pueda parecer una

⁵⁵⁰ ibíd., p. 253. El subrayado es mío.

⁵⁵¹ Newton, I., (1983), p. 66. El subrayado es mío.

obviedad⁵⁵², ubicada en el contexto del siglo XVII, significa una aportación extremadamente original que, como se verá más adelante, le permitió a Newton arribar a la idea de Gravitación Universal.

Al igual que la Segunda Ley, el origen de la Tercera Ley se relaciona con el problema del impacto, ya que como Newton señala en el Escolio posterior a las leyes, fue partiendo de ella (junto con las dos primeras leyes) como "... Sir Christopher Wren, el doctor Wallis y el señor Huygens, los mejores geómetras de nuestro tiempo, determinaron de diversos modos las reglas del impacto y reflexión de cuerpos duros..."⁵⁵³. De hecho, en el comentario (o elaboración) al enunciado, Newton ejemplifica la ley, con casos de fuerzas discretas, en las que:

"Si se aprieta una piedra con el dedo, el dedo es apretado también por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada a una cuerda, el caballo... será también arrastrado hacia atrás... Si un cuerpo tropieza con otro y debido a su fuerza cambia el movimiento de éste, el también... sufrirá un cambio igual en su propio movimiento hacia la parte contraria"⁵⁵⁴.

En estos casos, evidentemente sucederá que "... los cambios de las velocidades hechos hacia partes contrarias son inversamente proporcionales a los cuerpos"⁵⁵⁵, que es el resultado de la utilización del concepto de fuerza como incremento del ímpetu. Ya para terminar el comentario (o elaboración), Newton promete la generalización para fuerzas continuas, con los ejemplos que discutirá en el Escolio, ya que como señala:

"Esta ley tiene lugar también en las atracciones..."⁵⁵⁶.

En este Escolio, Newton se dedica, de manera prioritaria, a aportar evidencia empírica, de carácter diverso, a favor de su Tercera Ley.

El primer problema que discute se refiere a las colisiones, describiendo el caso de un experimento con péndulos de diferentes pesos que chocan a diferentes velocidades, que le permite, por un lado, validar las reglas del impacto de Wallis, Huygens y Wren, confirmadas por éste último ante la Royal Society y

⁵⁵² En realidad, la Tercera Ley es la que más les cuesta entender a los estudiantes, llegando incluso al absurdo de no ser entendida por profesionales de la física, como se muestra en la siguiente cita, tomada de un artículo de investigación:

"Tradicionalmente hemos llegado a aceptar que la acción debe estar balanceada por una reacción igual y opuesta. Es verdad que cuerpos materiales son causados a moverse por fuerzas fuera de balance, pero ellos entonces son acelerados y hay realmente un balance de fuerzas representado por la reacción inercial... Gracias al desarrollo de una máquina giroscópica... ahora queda establecido que la ley de Newton del balance de acción y reacción, está refutada". (cfr. Aspdén, H., (1989)).

⁵⁵³ Newton, I., (1982), p. 247.

⁵⁵⁴ ibíd., p. 238.

⁵⁵⁵ ibíd., p. 238.

⁵⁵⁶ ibíd., p. 238.

por otro lado, probar la congruencia experimental de la Tercera Ley "... al menos en cuanto concierne a percusiones y reflexiones..."⁵⁵⁷.

A continuación, Newton se propone demostrar la validez de la Tercera Ley para el caso de fuerzas continuas, tales como las atracciones. Para dicha demostración, Newton plantea dos experimentos mentales, no obstante que para el primero de ellos afirma haberlo constatado utilizando imán y hierro. Este primer experimento consiste en interponer "... un obstáculo para evitar el encuentro de dos cuerpos cualesquiera A y B que se atraen mutuamente. En ese caso, si uno de los cuerpos, digamos A, es más atraído hacia el otro cuerpo, B, que lo es ese otro cuerpo hacia A, el obstáculo se verá afectado más fuertemente por la presión del cuerpo A que por la presión del cuerpo B, por lo cual no permanecerá en equilibrio, sino que prevalecerá la presión más fuerte, haciendo que el sistema de los dos cuerpos y el obstáculo se mueva directamente hacia las partes ocupadas por B, y que en espacios libres progrese indefinidamente con un movimiento continuamente acelerado, cosa absurda y contraria a la Ley I... y, por tanto, los cuerpos deben presionar igualmente el obstáculo y ser igualmente atraídos el uno por el otro"⁵⁵⁸.

A esta constatación, dudosamente empírica, Newton agrega una segunda, para mostrar la validez de la Tercera Ley para el caso de "... la gravitación entre la Tierra y sus partes"⁵⁵⁹. En este caso, llama la atención que el ejemplo se refiere al concepto de gravitación, el cual no será formulado sino hasta el Libro III⁵⁶⁰.

No satisfecho con la ejemplificación para fuerzas discretas y continuas, Newton pasa a la consideración de la aplicación de la Tercera Ley en el caso de instrumentos mecánicos tales como una balanza, una polea (o una combinación de poleas), relojes (construidos como una combinación de ruedas), tornillos, cuñas y en general para todas las máquinas⁵⁶¹.

Después de esta larga ejemplificación, Newton señala que "... discurrir sobre mecánica no es mi presente incumbencia. Mediante los ejemplos anteriores sólo pretendía mostrar la gran extensión y la certeza de la tercera ley del movimiento"⁵⁶².

El Escolio termina con la definición de acción como el producto de la fuerza por la velocidad, a la que hice referencia con anterioridad, en la que pareciera que Newton está arribando a ideas relativas a la conservación de la energía. Incluso Maxwell, en su *Theory of Heat*, señala que:

⁵⁵⁷ ibíd., p. 250.

⁵⁵⁸ ibíd., p. 250.

⁵⁵⁹ ibíd., p. 251.

⁵⁶⁰ En el tratamiento de este ejemplo, Newton se deja llevar por un arrebatado cuasi poético al señalar que "... toda la Tierra que flota en el libre éter..." (Newton, I., (1982), p. 251), que es una aseveración sin sustento alguno.

⁵⁶¹ cfr. Newton, I., (1982), pp. 251-252.

⁵⁶² ibíd., pp. 252-253.

"Newton, en un Escolio a su Tercera Ley del Movimiento, ha establecido la relación entre trabajo y energía cinética en una manera tan perfecta que no puede ser mejorada, pero al mismo tiempo con tan poco esfuerzo o deseo de atraer la atención, que nadie se ha percatado de la gran importancia de el pasaje..."⁵⁶³.

Paradójicamente, el primero que no parece darle demasiada importancia al planteamiento, es el propio Newton, que aunque es llevado por su propio discurso a principios conservacionales, se aleja de ellos imposibilitado, por razones extraconceptuales⁵⁶⁴, a aceptar las implicaciones a las que lo arrastran sus propios planteamientos.

Con las tres Leyes de Newton se inaugura una nueva TI. Ellas representan el núcleo cognoscitivo, constructor de una dinámica, que obtendrá su primer gran triunfo al aplicarse al problema cosmológico, a través del concepto de Gravitación Universal.

IV.5 La Gravitación Universal

No obstante que es prácticamente un hecho probado el que la Gravitación Universal no puede ser anterior a 1684⁵⁶⁵, la leyenda newtoniana la sigue

⁵⁶³ En Chandrasekhar, S., (1995), p. 34.

⁵⁶⁴ Este tipo de razones, que se ubican en los otros niveles (axiológico y metodológico), han sido analizados con anterioridad. La interrelación entre los niveles, que posibilita o imposibilita determinados planteamientos, será analizada más adelante.

⁵⁶⁵ Si se quiere poner un origen al conjunto de reflexiones que concluyeron en la elaboración del concepto de Gravitación Universal, ese origen debe ser ubicado a finales de 1679 y principios de 1680. En noviembre de 1679, Hooke, que había sucedido a Oldenburg como secretario de la Royal Society, entró en contacto epistolar con Newton para invitarlo a mandarle algún escrito para ser publicado en las *Philosophical Transactions*. En el conjunto de cartas que intercambiaron en esta época (cfr. Koyré, A., (1952)), Hooke introdujo a Newton en un método para analizar movimientos celestes a lo largo de una curva, descomponiendo estos en una componente inercial y una centrípeta. Este análisis representaba un muy interesante cambio de perspectiva, al pasar del uso de una fuerza centrífuga (Huygens) que fija su atención en el objeto que gira, a una fuerza centrípeta en la que se enfatiza el papel del campo central que atrae al cuerpo que gira.

Esta correspondencia fue el origen de las pretensiones de reconocimiento sobre la Gravitación Universal, por parte de Hooke, y aunque es cierto que Newton debería haber aceptado que Hooke lo dirigió por el camino correcto, también es cierto que entre el planteamiento hookiano (que incluso aventuraba que esta fuerza de atracción hacia el centro, era inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto central y el que gira) y la Gravitación Universal, hay una gran distancia, que Hooke no estaba preparado para recorrer.

El intercambio finalizó el 17 de enero de 1680, con una carta de Hooke a Newton en la que le decía:

"Nos queda ahora por conocer las propiedades de una línea curva (no circular ni concéntrica) generada por un poder atractivo central que produce las velocidades de caída desde la línea tangente de movimiento rectilíneo uniforme a todas las distancias en una proporción duplicada a las distancias tomadas recíprocamente". (En Koyré, A., (1952), p. 337).

Hooke concluía señalando:

relacionando con la mítica manzana de 1666⁵⁶⁶, que le otorga al concepto, más allá de sus virtudes propias, el carácter fundacional vinculado al bíblico árbol del conocimiento.

"No dudo que usted, con su excelente método, encontrará fácilmente cuál ha de ser esta curva y cuáles sus propiedades y sugerirá una razón física de esta proporción". (En Koyré, A., (1952), p. 337).

Newton no continuó con el intercambio epistolar, pero evidentemente siguió el consejo de Hooke, pues cuando en agosto de 1684 lo visitó Halley y le preguntó "... cuál creía él sería la curva que describirían los planetas, si suponemos que la fuerza de atracción hacia el Sol es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a él" (En Cohen, I.B., (1981), p. 125), que era un problema que el propio Halley había discutido con Wren y Hooke, sin poder encontrar la solución (aunque Hooke decía que la había encontrado), la respuesta de Newton fue que tal curva era una elipse y que lo sabía pues la había calculado. Como supuestamente Newton no encontró el cálculo, le prometió rehacerlo, pero lo que hizo fue mucho más, empezó a redactar el tratado *De Motu Corporum in Gyrum* (cfr. Newton, I., (1965b)), que es el origen de los *Principia*.

La fecha de la famosa visita de Halley a Newton, ha sido puesta en duda por Herivel, que considera que Halley debió visitar tres veces a Newton, la primera de ellas en mayo, la segunda en agosto y la tercera en noviembre de 1684. (cfr. Herivel, J., (1965), p. 97). Lo importante de este hecho se relaciona con la fecha de composición del tratado *De Motu Corporum in Gyrum*, ya que Herivel lo ubica entre junio y julio de 1684, mientras que Cohen lo ubica en noviembre de ese año.

En la primera versión de este tratado, normalmente denominada MSS IXa, no se encuentra la idea de Gravitación Universal, mientras que en la tercera versión (MSS IXc) denominada *De Motu Sphaericorum Corporum in fluidis* (cfr. Newton, I., (1978a)) datada por Herivel como posiblemente anterior a octubre y por Cohen como de diciembre de 1684, Newton agrega un escolio en el que señala que "... los planetas ni se mueven exactamente en elipses ni giran dos veces según la misma órbita... Hay tantas órbitas para un planeta como sus revoluciones, como en el movimiento de la Luna, y la órbita de cada planeta depende del movimiento combinado de todos los planetas, por no mencionar las acciones de todos ellos unos sobre otros". (Newton, I., (1965a), pp. 297 y 301).

La cita anterior, es la primera aseveración de Newton con respecto a las interacciones mutuas de los planetas, pudiendo plantearse que, de alguna manera, entre las versiones primera y tercera del *De Motu*, nació la idea de Gravitación Universal, entre junio y octubre de 1684 (siguiendo a Herivel) o entre noviembre y diciembre de 1684 (siguiendo a Cohen).

Wilson coincide con las fechas de Herivel y agrega, para su conclusión, otros elementos como el análisis de los tratados MSS Xa y MSS Xb. (cfr. Wilson, C., (1970), pp. 89 y 170).

En conclusión, el concepto de Gravitación Universal nació, tomando las fechas máximas de los diversos autores, entre junio y diciembre de 1684.

⁵⁶⁶ En la década de los sesentas, probablemente en 1666, Newton no pensaba en comparar la caída de la manzana con la caída de la Luna, sino que estaba interesado en comparar el comportamiento centrífugo de la Luna, con el de los cuerpos en la superficie terrestre y que giraran de acuerdo al movimiento diurno de la Tierra, encontrando que para órbitas circulares, el comportamiento centrífugo sería inversamente proporcional a la distancia entre el Sol y el planeta, no sacando de este cálculo ninguna conclusión física relevante. Sin embargo y dado que nunca consideró que tuviera deuda alguna con Hooke por haberlo encaminado, en su correspondencia de 1679, hacia lo que eventualmente sería el concepto de Gravitación Universal y con la finalidad de asegurar su propia prioridad acerca del descubrimiento de la ley cuadrática inversa gravitatoria, Newton montó, en palabras de Cohen, "... una escenografía donde realizar el famoso ensayo lunar, no al escribir los *Principia*, sino dos décadas antes...". (Cohen, I.B., (1981), p. 133). Así, en los últimos años de su vida, le contó a varias personas el famoso episodio de la manzana. Las principales versiones de esta historia son:

La de Conduitt que señala:

"En el año de 1666 se retiró otra vez de Cambridge... a Lincolnshire y mientras estaba paseando en un jardín, le vino a la mente que el poder de la gravedad (el cual trajo una manzana desde un árbol hasta el suelo) no estaba limitado a ciertas distancias desde la Tierra sino que su

poder debía extenderse mucho más lejos que lo usualmente pensado. Por qué no tan alto como la Luna se dijo a sí mismo y si es así debe influenciar su movimiento y quizás retenerla en su órbita, a partir de esto él calculó cual podía ser el efecto de esta suposición pero estando lejos de sus libros... su cálculo no estuvo de acuerdo con su teoría y lo inclinó entonces a considerar la idea de que junto con la fuerza de gravedad debería haber una mezcla de esta fuerza con la que la Luna tendría si fuera arrastrada en un vórtice". (En Westfall, R.S., (1986), p. 154).

La de Stukeley, que en 1726 cenó con Newton en sus aposentos de Kensington y al que, al salir a tomar el té "... bajo la sombra de algunos manzanos solo él y yo. En medio de otra conversación, me dijo que se hallaba exactamente en la misma situación que cuando, hacía años, le había venido a la mente la noción de gravitación. Fue con ocasión de la caída de una manzana mientras se hallaba en actitud contemplativa". (En Christianson, G., (1986), pp. 93-94).

La de Voltaire, que en la traducción inglesa de sus *Éléments de la philosophie de Newton*, narra la historia que le fue contada por Catherine Barton, sobrina de Newton:

"Un día del año 1666, Newton, tras haber regresado al campo, y viendo caer los frutos de un árbol, se sumió, según lo que me ha contado su sobrina, la señora Conduitt, en una profunda meditación acerca de la causa que atrae de esta forma los cuerpos en una trayectoria que, si fuera prolongada, pasaría por el centro mismo de la Tierra". (En Christianson, G., (1986), p. 94).

La de Pemberton que dice, en la que no aparece referencia a fruto alguno, que dice:

"Los primeros pensamientos que dieron origen a sus *Principia* los tuvo cuando se retiró de Cambridge en 1666 a causa de la peste. Mientras estaba sentado a solas en un jardín, se sumió en una especulación sobre el poder de la gravedad: sobre todo al hecho de que no podemos apreciar ninguna sensible disminución del mismo por más que nos alejemos del centro de la Tierra, ni siquiera en la parte superior de los edificios más altos, ni siquiera en las cimas de las más elevadas montañas; en consecuencia le pareció razonable llegar a la conclusión de que este poder debe extenderse hasta mucho más lejos de lo que normalmente se piensa; ¿por qué no hasta la propia Luna?, se dijo a sí mismo. Y si esto era así, el movimiento de nuestro satélite tenía que verse influenciado por él; quizá era él precisamente el que retenía a la Luna en su órbita. De todos modos, aunque el poder de la gravedad no resulta sensiblemente debilitado en el pequeño cambio de distancias en que podemos situar nuestros cuerpos del centro de la Tierra, sí es posible que a una altura tan grande como la de la Luna difiera mucho en fuerza de la que apreciamos aquí. Para hacer una estimación de cuál podía ser el grado de esta disminución, se dijo para sí mismo que si la Luna era retenida en su órbita por la fuerza de la gravedad, entonces sin duda los planetas primarios son arrastrados también en torno al Sol por la misma fuerza. Y comparando los períodos de los distintos planetas con sus respectivas distancias del Sol, encontró que, si lo que los mantenía en sus órbitas era un poder como el de la gravedad, su fuerza tenía que menguar en proporción doble al incremento de la distancia. Llegó a esta conclusión suponiéndolos girando en perfectos círculos concéntricos en torno al Sol, de cuya figura no difieren grandemente las órbitas de la mayor parte de ellos. Suponiendo, pues, que el poder de la gravedad, extendido hasta la Luna, descendiera del mismo modo, calculó si la fuerza sería suficiente para mantener al satélite en su órbita. Para este cálculo, careciendo de datos en los libros, tomó la estimación habitual usada por los geógrafos y nuestros marinos, antes de que Norwood midiera la Tierra; que un grado de latitud sobre la superficie de la Tierra contenía 60 millas inglesas. Pero como esta suposición era errónea, ya que un grado contiene aproximadamente unas 69 1/2 de nuestras millas, el cálculo no respondió a las expectativas; por lo que llegó a la conclusión de que como mínimo debía existir otra causa además de la acción de la gravedad que actuara sobre la Luna". (En Christianson, G., (1986), pp. 94-95).

La de Whiston, que es posiblemente la más antigua (probablemente 1694), y en la que tampoco aparece la manzana, que señala:

"La mente de Sir Isaac se sintió inclinada a intentar averiguar si no mantendría a la Luna en su órbita, pese a su velocidad de proyectil, que sabía tendía siempre a seguir una línea recta tangencial a esa órbita, el mismo poder que hace que una piedra y todos los cuerpos pesados caigan hacia abajo, y que nosotros llamamos gravedad. Tomando el postulado, que ya había sido formulado con anterioridad, de que tal poder debe disminuir en proporción duplicada a las distancias del centro de la Tierra, Sir Isaac hizo una primera prueba, tomando un grado de un gran círculo de la superficie de la Tierra, de donde había que determinar también el grado de distancia

El concepto de Gravitación Universal es planteado por Newton en el Libro III (El Sistema del Mundo) de los *Principia*, una vez que, al final del Libro II, ha logrado desechar los vórtices cartesianos, en base al análisis, en la Sección IX (del Libro II), del movimiento circular de los fluidos, que le permite demostrar, en la Proposición LII. Teorema XL, que:

"Si una esfera sólida gira con movimiento uniforme en torno a un eje de posición dada en un fluido uniforme e infinito y el fluido sólo es obligado a girar por el impulso de esta esfera, y cada parte del fluido persiste en su movimiento uniforme, afirmo que los tiempos periódicos de las partes del fluido son como los cuadrados de sus distancias al centro de la esfera"⁵⁶⁷.

Una vez demostrado este resultado, Newton plantea, en el Escolio a la proposición, que ha "... intentado investigar las propiedades de los vórtices con el fin de determinar si los fenómenos celestes pueden explicarse recurriendo a ellas"⁵⁶⁸. El argumento newtoniano se cierra, apelando (sin decirlo textualmente) a la Tercera Ley de Kepler, al señalar "... que los tiempos periódicos de los planetas que giran en torno a Júpiter son como la 3/2ava potencia de sus distancias al centro de Júpiter, y la misma regla se aplica también a los planetas que giran en torno al Sol. Y estas reglas prevalecen con la mayor exactitud en lo hasta ahora descubierto por la observación astronómica. En consecuencia si los mencionados planetas se desplazan en vórtices que giran en torno a Júpiter y el Sol, los vórtices deberán girar conforme a aquella ley. Pero aquí hemos determinado que los tiempos periódicos de las partes del vórtice son como el cuadrado de las distancias al centro de movimiento y esta razón no puede ser disminuida y reducida a la 3/2ava potencia..."⁵⁶⁹. El párrafo termina con un auténtico desafío:

"Determinen entonces los filósofos cómo el fenómeno de la 3/2ava potencia puede ser explicado por vórtices"⁵⁷⁰.

Más adelante, en el Escolio a la Proposición LIII. Teorema XLI (la última proposición del Libro II), Newton concluye que:

"Por tanto, es evidente que los planetas no son transportados en vórtices corpóreos. En efecto, según la hipótesis de Copérnico, los planetas que se mueven alrededor del Sol giran en elipses con el Sol como foco común y

de la Luna, y que era de solamente 60 millas, según las medidas aproximadas entonces en uso. En cierto modo se sintió decepcionado, ya que el poder que retenía a la Luna en su órbita... no parecía ser enteramente el mismo que cabía esperar que la influenciara, y que era únicamente el poder de la gravedad. Tras esta decepción, que hizo sospechar a Sir Isaac que este poder era parcialmente el de la gravedad, y parcialmente el de los vórtices cartesianos, dejó a un lado los papeles de sus cálculos y se dedicó a otros estudios". (En Christianson, G., (1986), p. 95).

⁵⁶⁷ Newton, I., (1982), p. 643.

⁵⁶⁸ ibíd., p. 649.

⁵⁶⁹ ibíd., p. 649. El subrayado es mío.

⁵⁷⁰ ibíd., p. 650.

describen áreas proporcionales a los tiempos con radios trazados hasta el Sol. Pero las partes de un vórtice jamás pueden girar con semejante movimiento"⁵⁷¹.

Una vez desechados los vórtices y con la aceptación explícita de las tres Leyes de Kepler⁵⁷², Newton, refiriéndose a los *Principia*, señala que:

"El primer Libro ayuda a comprender cómo tienen lugar estos movimientos en espacios libres sin vórtices y ahora lo explicaré de forma más completa en el Libro siguiente"⁵⁷³.

El Libro III empieza con una introducción, a la que me referiré más adelante, continuando con las Reglas para Filosofar y los Fenómenos⁵⁷⁴. Los primeros cuatro fenómenos se refieren a la constatación de la validez empírica de la Tercera Ley de Kepler. A continuación, Newton se dedica a construir, en las primeras trece proposiciones del Libro III, el concepto de Gravitación Universal.

Estas trece proposiciones se demuestran, de acuerdo con la lógica de los *Principia*, apelando a demostraciones generales hechas en los Libros I y II ya que, como señala Newton en la introducción al Libro III:

"En los Libros precedentes he expuesto principios de filosofía, no tanto filosóficos como matemáticos, sobre los cuales resulta posible fundamentar nuestros razonamientos en asuntos filosóficos"⁵⁷⁵.

Sin embargo, dada la complejidad de los *Principia*, Newton aclara que:

"No significa esto que aconseje a nadie el estudio previo de cada proposición de esos Libros, pues abundan algunas que pueden costar demasiado tiempo incluso a los lectores doctos en matemáticas. Bastará con que se lean cuidadosamente las Definiciones, las Leyes de Movimiento y las tres primeras secciones del Libro primero, para pasar luego a este Libro sobre el sistema del

⁵⁷¹ ibíd., p. 651.

En esta cita, llama la atención que Newton se refiera a Copérnico en lugar de a Kepler.

⁵⁷² Normalmente, suele plantearse que las Leyes de Kepler eran consideradas por Newton como leyes empíricas válidas, que le sirvieron para la construcción de su concepto de Gravitación Universal. La idea de que Newton usó las elipses keplerianas como premisa empíricas, viene desde Pemberton en *A view of Sir Isaac Newton's Philosophy* (1728) y fue reforzada por Mc Laurin en *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries* (1748). Sin embargo, para autores como Wilson, la relación discursiva Kepler-Newton es más complicada y sutil de lo que normalmente se piensa. Para Wilson, Newton no creyó en las elipses, como establecidas empíricamente, hasta que él llegó a ellas, y el carácter de las Leyes de Kepler fue siempre (para Newton) conjetural. (cfr. Wilson, C., (1974) y Wilson, C., (1970)).

⁵⁷³ Newton, I., (1982), p. 652.

⁵⁷⁴ Tanto las Reglas para Filosofar como los Fenómenos, fueron analizados en la parte correspondiente a la Metodología.

⁵⁷⁵ Newton, I., (1982), p. 652.

mundo, consultando las demás Proposiciones de los otros dos según lo requieran su arbitrio y las referencias del texto⁵⁷⁶.

Efectivamente, las trece proposiciones del Libro III apelan, explícitamente, a dieciocho proposiciones del Libro I⁵⁷⁷, tres del Libro II⁵⁷⁸, las Reglas I, II y IV del Libro III, la Tercera Ley y el Corolario a las Leyes de Movimiento⁵⁷⁹.

Dada la importancia de las veintiuna proposiciones a las que hice referencia, a continuación discutiré las más relevantes de ellas.

⁵⁷⁶ ibíd., pp. 655-656.

⁵⁷⁷ Proposiciones I, II, III, IV, XI, XIII, XXXVI, XLV, LX, LXV, LXVI, LXVII, LXIX, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI. Las primeras seis (I, II, III, IV, XI y XIII) pertenecen a las Secciones II y III, recomendadas explícitamente por Newton.

⁵⁷⁸ Proposiciones XXII, XXIV y XL.

⁵⁷⁹ El cuadro general de elementos utilizados en las trece primeras proposiciones del Libro III es el siguiente:

Proposición I:	Proposición II o III. Libro I. Proposición IV, Corolario VI. Libro I.
Proposición II:	Proposición II. Libro I. Proposición IV, Corolario VI. Libro I. Proposición XLV, Corolario I. Libro I.
Proposición III:	Proposición II o III. Libro I. Proposición XLV, Corolario I. Libro I. Proposición XLV, Corolario II. Libro I.
Proposición IV:	Proposición XXXVI. Libro I. Proposición IV, Corolario IX. Libro I. Proposición LX. Libro I.
Escolio	Reglas I y 2. Libro III.
Proposición V:	Reglas I y 2. Libro III. Ley III. Regla 2. Libro III.
Escolio	Reglas 1, 2 y 4. Libro III.
Proposición VI:	Proposición XXIV, Corolario I. Libro II. Proposición XXIV, Corolario VI. Libro II. Proposición LXV, Corolario II. Libro I. Proposición LXV, Corolario III. Libro I. Regla 3. Libro III.
Proposición VII:	Proposición LXIX. Libro I. Ley III. Proposición LXXIV, Corolario III. Libro I.
Proposición VIII:	Proposición LXXV y Corolarios. Libro I. Proposición LXXVI y Corolarios. Libro I. Proposición IV, Corolario II. Libro I. Proposición LXXII. Libro I.
Proposición IX:	Proposición LXXIII. Libro I.
Proposición X:	Proposición XL. Libro II. Proposición XXII. Libro II.
Proposición XI:	Corolario IV a las Leyes.
Proposición XIII:	Proposición I. Libro I. Proposición XI. Libro I. Proposición XIII. Corolario I. Libro I. Proposición LXVI. Libro I. Proposición LXVII. Libro I.

En la Sección II del Libro I, bajo el rubro general de "Sobre la determinación de fuerzas centrípetas", Newton afirma que:

"Las áreas que los cuerpos de revolución describen mediante radios trazados hasta un centro de fuerza inmóvil se encuentran en los mismos planos inmóviles y son proporcionales a los tiempos en los que se describen"⁵⁸⁰.

Aunque el tratamiento es, a decir de Newton, puramente matemático, evidentemente la demostración se refiere a la Segunda Ley de Kepler, pero con el agregado de plantear que la validez de dicha ley está condicionada por la existencia de una fuerza centrípeta. En la demostración se explicita el vínculo existente entre el enunciado kepleriano y la ley de la inercia (Primera Ley), ya que en ausencia de la fuerza centrípeta, el móvil se desplazaría con un movimiento rectilíneo uniforme.

Este resultado se complementa con la Proposición II en la que se señala que:

"Todo cuerpo que se mueva en cualquier curva descrita en un plano y -mediante un radio trazado hasta un punto inmóvil o que progresa con movimiento rectilíneo uniforme- describa alrededor de ese punto áreas proporcionales a los tiempos es urgida por una fuerza centrípeta dirigida hacia ese punto"⁵⁸¹.

En las Proposiciones I y II⁵⁸², Newton demuestra, por un lado, que una fuerza centrípeta genera una trayectoria que cumple con la ley de las áreas iguales en tiempos iguales (2ª Ley de Kepler) y por el otro, que un movimiento a lo largo de una curva descrita por la ley de las áreas, implica la existencia de una fuerza centrípeta, de forma tal que con las dos proposiciones se demuestra que la ley de las áreas es condición necesaria y suficiente para el movimiento inercial en un campo central (de fuerzas).

Con estas demostraciones, la Segunda Ley de Kepler deja de ser una regla astronómica para convertirse en parte medular de la mecánica racional ya que, a decir de Newton, en el Escolio a las tres primeras proposiciones:

"Puesto que la descripción regular de áreas indica que hay un centro hacia el cual tiende aquella fuerza por la que resulta más afectado el cuerpo, y por la cual es apartado de su movimiento rectilíneo y retenido en su órbita, ¿por qué no utilizar en lo sucesivo la descripción regular de áreas como indicación de un centro, en torno al cual se realiza todo movimiento circular en espacios libres?"⁵⁸³.

⁵⁸⁰ Newton, I., (1982), p. 270.

⁵⁸¹ ibíd., p. 273.

⁵⁸² Estas dos proposiciones aparecieron, por primera vez, en el tratado *De Motu Corporum in Gyrum* de 1684. (cfr. Newton, I., (1965b), pp. 258-260 y 278-279).

⁵⁸³ Newton, I., (1982), pp. 275-276.

En la Proposición III, Libro I, Newton plantea que:

"Todo cuerpo que mediante un radio trazado hasta el centro de otro cuerpo, movido como se quiera, describe alrededor de ese centro áreas proporcionales a los tiempos, es regido por una fuerza compuesta por la fuerza centrípeta tendente hacia ese otro cuerpo y por toda la fuerza acelerativa con la cual es impelido ese otro cuerpo"⁵⁸⁴.

En la demostración de esta proposición, llama la atención que, no obstante que se trata de un resultado general, Newton nombra como "... L el primer cuerpo y T el segundo..."⁵⁸⁵, en franca alusión a *Luna* y *Terra*, de forma tal que lo que se plantea es que si la Tierra está sujeta a alguna fuerza, la Luna estará sujeta a la misma, e "... impelida por la diferencia de las fuerzas... procederá a describir alrededor del cuerpo T áreas proporcionales a los tiempos"⁵⁸⁶.

La Proposición IV, Libro I, establece que:

"Las fuerzas centrípetas de cuerpos que mediante movimientos regulares describen diferentes círculos tienden hacia los centros de esos círculos, y son entre sí como los cuadrados de los arcos descritos en tiempos iguales divididos respectivamente por los radios de esos círculos"⁵⁸⁷.

Particularmente relevante es el Corolario VI a esta proposición ya que en él plantea el caso en el que "... los tiempos periódicos son como la potencia 3/2 de los radios..."⁵⁸⁸ para concluir que bajo estas condiciones, "... las fuerzas centrípetas serán inversamente como el cuadrado de los radios"⁵⁸⁹. La importancia de este corolario radica en el hecho de que, como se señala, en el Escolio posterior a la Proposición IV, este caso "... se mantiene en los cuerpos celestes (como han observado Wren, Hooke y Halley); por eso mismo pretendo en lo que sigue tratar más ampliamente lo que concierne a la fuerza centrípeta decreciente como los cuadrados de las distancias con respecto a los centros"⁵⁹⁰.

Hasta este punto, Newton ha logrado correlacionar la Segunda Ley de Kepler y la Primera Ley de Movimiento con la fuerza centrípeta, que en el caso celeste es de la forma $1/r^2$.

Como si esto no bastara, al continuar el Escolio, señala que "... mediante la proposición precedente y sus corolarios podemos descubrir la proporción de una fuerza centrípeta a cualquier otra fuerza conocida, como la gravedad. Pues si

⁵⁸⁴ ibíd., p. 274.

⁵⁸⁵ ibíd., p. 274.

⁵⁸⁶ ibíd., p. 275.

⁵⁸⁷ ibíd., p. 276.

⁵⁸⁸ ibíd., pp. 276-277.

⁵⁸⁹ ibíd., p. 277.

⁵⁹⁰ ibíd., p. 277.

por medio de su gravedad un cuerpo gira en un círculo concéntrico a la Tierra, esa gravedad es la fuerza centrípeta de tal cuerpo"⁵⁹¹.

Es sorprendente como, haciendo únicamente matemáticas (a decir de Newton), en estas cuatro proposiciones hay más información física que en la mayoría de los voluminosos tratados de la época.

Las siguientes proposiciones de la Sección II (Libro I) no son tan relevantes y solamente me gustaría apuntar la Proposición X, en la que Newton ataca, por primera vez, el caso de una órbita elíptica. Lo curioso es que analiza dicha órbita, pero con una fuerza centrípeta que tiende hacia el centro de la elipse, encontrando que será directamente proporcional a la distancia. Pareciera como si Newton deseara tratar este caso por completez pero sin inaugurar la siguiente sección, cuyo inicio, con la Proposición XI. Problema VI, es el muy relevante caso de una órbita elíptica con una fuerza centrípeta que tiende hacia el foco de la elipse. Este caso es un obvio referente a la Primera Ley de Kepler y al famoso encuentro con Halley, que normalmente se considera como el origen de los *Principia*. Newton demuestra, en la Proposición XI, que la fuerza centrípeta es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el cuerpo en la órbita elíptica y el foco de la elipse⁵⁹².

En la Proposición XII. Problema VII, se demuestra que si la órbita es hiperbólica, la fuerza centrípeta tendiente al foco, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia⁵⁹³.

La Proposición XIII. Problema VIII, trata el caso de un cuerpo moviéndose en una parábola, en el que fuerza centrípeta dirigida al foco es, también, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia⁵⁹⁴.

En el Corolario I a esta proposición, Newton completa la prueba⁵⁹⁵ al mostrar que "... cualquier cuerpo... urgido por la acción de una fuerza centrípeta que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia... se moverá en una de las secciones cónicas, teniendo su foco en el centro de fuerza..."⁵⁹⁶.

Estas proposiciones resaltan el planteamiento kepleriano, plasmado en su Primera Ley, ya que de las órbitas elípticas se infiere la existencia de una fuerza centrípeta inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, y de esta fuerza centrípeta se infiere una trayectoria a través de una sección cónica, de forma tal que la elipse es una de las posibilidades y de hecho es (con excepción del círculo) la única que representa una curva cerrada.

⁵⁹¹ ibíd., p. 277. El subrayado es mío.

⁵⁹² cfr. Newton, I., (1982), pp. 288-290.

⁵⁹³ cfr. Newton, I., (1982), pp. 290-293.

⁵⁹⁴ cfr. Newton, I., (1982), pp. 293-294.

⁵⁹⁵ En realidad lo que ha demostrado es que cualquier trayectoria en una sección cónica implica una fuerza centrípeta de la forma $1/r^2$ pero no, necesariamente, a la inversa.

⁵⁹⁶ Newton, I., (1982), p. 294.

El siguiente conjunto de proposiciones relevantes para la construcción de la Gravitación Universal, pertenecen a la Sección XI del Libro I de los *Principia*. La Sección XI, que lleva por título "Sobre los movimientos de cuerpos que tienden unos a otros con fuerzas centrípetas"⁵⁹⁷, empieza con una importante aclaración sobre el concepto de atracción, ya que:

"Hasta aquí he estado exponiendo las atracciones de cuerpos hacia un centro inmóvil, aunque muy probablemente no exista cosa semejante en la naturaleza de las cosas. Pues las atracciones suelen dirigirse hacia cuerpos, y las acciones de los cuerpos atraídos y atrayentes son siempre recíprocas e iguales, por la Tercera Ley; con lo cual si hay dos cuerpos ni el atraído ni el atrayente se encuentran verdaderamente en reposo, sino que ambos... giran en torno a un centro común de gravedad, estando por así decirlo mutuamente atraídos. Y 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 delante en línea recta. En consecuencia, 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"⁵⁹⁸.

Esta aclaración de tipo físico es de la mayor relevancia pues, efectivamente, la Tercera Ley de Movimiento, invalida la idea kepleriana de considerar (para el caso celeste) al Sol como atractor de los planetas individuales, al introducir la idea de interacción entre todos los cuerpos, planteamiento que será central para arribar al concepto de Gravitación Universal.

Una vez avisados de las complejidades a las que tendremos que enfrentarnos al hablar de física, la introducción a la Sección XI termina regresándonos al apacible mundo matemático ya que: "... estas Proposiciones deben considerarse puramente matemáticas; en esa medida, prescindiendo de cualesquiera consideraciones físicas, utilizo un discurso llano para hacerme comprender por un lector matemático"⁵⁹⁹.

Bajo estas consideraciones, en la Proposición LXV. Teorema XXV, Libro I se plantea que:

"Los cuerpos, cuyas fuerzas decrecen como el cuadrado de sus distancias respecto de sus centros, pueden moverse entre sí en elipses; y mediante radios trazados hasta los focos pueden describir áreas muy aproximadamente proporcionales a los tiempos"⁶⁰⁰.

⁵⁹⁷ ibíd., p. 404.

⁵⁹⁸ ibíd., p. 404.

⁵⁹⁹ ibíd., p. 404.

⁶⁰⁰ ibíd., p. 412. El subrayado es mío.

En esta proposición, llama la atención el carácter cauteloso de la aseveración relativa a las dos primeras Leyes de Kepler ya que, como señala en la demostración "... tampoco es posible que cuerpos que se atraen unos a otros con arreglo a la ley supuesta en esta Proposición se muevan exactamente en elipses..."⁶⁰¹, aunque en los casos de cuerpos pequeños que giran alrededor de uno muy grande, "... las órbitas no diferirán mucho de las elipses..."⁶⁰².

La Proposición LXVI. Teorema XXVI es de la mayor importancia, ya que en ella ataca el problema de los tres cuerpos, cuyo caso más notable y evidente es el sistema Sol-Tierra-Luna. En el enunciado de esta proposición, Newton plantea que:

"Si tres cuerpos, cuyas fuerzas decrecen como el cuadrado de las distancias, se atraen entre sí, y las atracciones acelerativas de dos cuerpos cualesquiera hacia el tercero son entre ellas inversamente como el cuadrado de las distancias, y los dos más pequeños giran en torno al mayor, afirmo que el interior de los dos cuerpos en revolución describirá por radios trazados hasta el más interno y mayor, áreas más proporcionales a los tiempos, y una figura más próxima a la elipse con su foco en el punto de intersección de los radios, si ese gran cuerpo es perturbado por tales atracciones que si el gran cuerpo no fuese atraído para nada por los menores y permaneciese en reposo; o de lo que acontecería si ese gran cuerpo fuese mucho más o mucho menos atraído, o mucho menos perturbado por las atracciones"⁶⁰³.

Para el análisis de esta proposición, Newton empieza planteando dos casos. El Caso I se refiere a órbitas coplanares de los tres cuerpos P, S y T, mientras que el Caso II plantea que los cuerpos menores P y S giran en torno al mayor (T), en planos diferentes. En estos casos se analiza la perturbación que sufre la órbita elíptica de P en torno a T, por la influencia de S. Evidentemente, P puede ser interpretada como la Luna, T la Tierra y S el Sol, y cuando señala a S como cuerpo menor, se refiere (como aclara en el Corolario VI) a la influencia que tiene sobre P en comparación con la influencia que ejerce T.

Una vez probada la proposición para ambos casos, Newton plantea veintidós corolarios en los que analiza, exhaustivamente, las perturbaciones a la órbita kepleriana y otros problemas, como los relativos a la elaboración de una teoría de las mareas.

En la Proposición LXVII. Teorema XXVII y la Proposición LXVIII. Teorema XXVIII, se plantea la pertinencia de analizar el problema de tres cuerpos, desde el marco de referencia del centro de gravedad, ya que como se señala en el Corolario a la Proposición LXVIII, "... si varios cuerpos más pequeños giran en torno al grande puede inferirse fácilmente que las órbitas descritas se acercarán

⁶⁰¹ ibíd., p. 412.

⁶⁰² ibíd., p. 412.

⁶⁰³ ibíd., p. 415.

más a elipses, y las descripciones de áreas serán más uniformes si todos los cuerpos se atraen y perturban entre sí con fuerzas acelerativas, que son directamente como sus fuerzas absolutas e inversamente como los cuadrados de las distancias, y si el foco de cada órbita se sitúa en el centro común de gravedad de todos los cuerpos interiores... que si el cuerpo más interior estuviese en reposo y fuese convertido en foco común de todas las órbitas"⁶⁰⁴.

En la Proposición LXIX. Teorema XXIX, Newton introduce en el análisis, a la masa de los cuerpos, al señalar que:

"En un sistema de varios cuerpos A, B, C, D, etc., si uno de esos cuerpos, digamos A, atrae a todo el resto, B, C, D, etc., con fuerzas acelerativas que son inversamente como los cuadrados de las distancias desde el cuerpo atractivo; y otro cuerpo, digamos B, atrae también al resto con fuerzas que son inversamente como los cuadrados de las distancias desde el cuerpo atractivo, las fuerzas absolutas de los cuerpos A y B serán entre sí como los cuerpos mismos A y B a quienes pertenecen tales fuerzas"⁶⁰⁵.

Para que no quede duda de que al referirse a los cuerpos mismos, se está refiriendo a la masa de ellos, en la demostración asegura que "... la aceleración atractiva del cuerpo B hacia A es a la aceleración atractiva del cuerpo A hacia B como la masa del cuerpo A es a la masa del cuerpo B"⁶⁰⁶.

La Sección XII del Libro I de los *Principia* es, tal vez, una de las más relevantes, pues en ella se ataca el problema de las fuerzas atractivas entre cuerpos esféricos y es, con base en este análisis, que Newton se convenció del carácter universal de la Gravitación, ya que como él señala en la Proposición VII del Libro III:

"Tras determinar que la fuerza de gravedad hacia todo un planeta obedece a las fuerzas de la gravedad hacia todas sus partes y está compuesta de ellas, y que hacia cada una de las partes se encuentra en proporción inversa a los cuadrados de las distancias a la parte, me quedaba todavía la duda de si dicha proporción inversa al cuadrado de las distancias era exacta o muy aproximadamente aplicable a la fuerza total compuesta de tantas fuerzas parciales, pues podía ocurrir que la proporción exactamente aplicable a grandes distancias no lo fuera cerca de la superficie del planeta... Pero con ayuda de las Proposiciones LXXV y LXXVI del Libro I y sus Corolarios, terminé por convencerme de la verdad de la Proposición en su forma actual"⁶⁰⁷.

⁶⁰⁴ ibíd., p. 432.

⁶⁰⁵ ibíd., pp. 432-433. El subrayado es mío.

⁶⁰⁶ ibíd., p. 433. El subrayado es el mío.

⁶⁰⁷ ibíd., pp. 677-678. El subrayado es mío.

No obstante que Newton se refiere, explícitamente, a las Proposiciones LXXV y LXXVI, cuando Westfall (cfr. Westfall, R.S., (1996), pp.427-429) analiza este párrafo, omite la referencia a tales proposiciones y enfatiza la importancia de la Proposición LXXI. En realidad, lo que sucede es que, dada la forma de estructurar los *Principia*, la demostración relativa a las atracciones entre

En la Proposición LXXV. Teorema XXXV, se plantea que:

"Si hacia los diversos puntos de una esfera dada tienden fuerzas centrípetas iguales que decrecen como el cuadrado de las distancias al punto, afirmo que otra esfera similar será atraída por ella con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los centros"⁶⁰⁸.

La Proposición LXXVI. Teorema XXXVI, es equivalente, pero aplicada a "... esferas desiguales (en cuanto a densidad de materia y fuerza atractiva) en la misma razón progresiva desde el centro hasta la circunferencia, pero semejantes para todo lo demás a cada distancia dada al centro..."⁶⁰⁹.

Con las proposiciones de la Sección XXII, Newton está preparado para correlacionar la gravedad terrestre con la dinámica celeste restando, únicamente, como elemento esencial para la construcción de la Gravitación Universal, la demostración relativa a la proporcionalidad entre masa y peso, la que elabora en la Proposición XXIV. Teorema XIX de la Sección VI, Libro II, al señalar que:

"Las cantidades de materia de los cuerpos pendulares cuyos centros de oscilación se encuentran a igual distancia del centro de suspensión están en razón compuesta de la razón de los pesos y el cuadrado de la razón de los tiempos de las oscilaciones en el vacío"⁶¹⁰.

La demostración de esta proposición, que utiliza de manera prioritaria a la Segunda Ley (de Newton), es seguida por siete corolarios. En el primero de ellos se aclara que:

"En consecuencia, si los tiempos son iguales, las cantidades de materia en cada uno de los cuerpos son como los pesos"⁶¹¹.

El más directo de todos los corolarios es el VI, en el que se señala que de lo anterior "... se desprende un método para comparar tanto cuerpos entre sí, en lo que toca a la cantidad de materia de cada uno, como pesos del mismo cuerpo en diferentes lugares, para conocer la variación de su gravedad. Y, por medio de

esferas está construida, paso a paso, en las Proposiciones LXX, LXXI, LXXIII, LXXIV, LXXV y LXXVI.

Chandrasekhar plantea que el Corolario III a la Proposición LXXIV, relativo a que: "Si un corpúsculo situado fuera de una esfera homogénea es atraído por una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al centro, y la esfera consiste en partículas atractivas, la fuerza de cada partícula decrecerá como el cuadrado de la distancia a cada partícula". (Newton, I., (1982), p. 440), es "... casí una declaración de la ley de gravitación universal..." (Chandrasekhar, S., (1995), p. 278. El subrayado es mío), aunque acotando que el casi es debido a que se refiere a un caso particular.

⁶⁰⁸ Newton, I., (1982), p. 440.

⁶⁰⁹ ibíd., p. 441.

⁶¹⁰ ibíd., p. 553.

⁶¹¹ ibíd., p. 554.

experimentos realizados con la mayor precisión, siempre he observado que la cantidad de materia de los cuerpos es proporcional a su peso"⁶¹².

En este último corolario, Newton está proponiendo, de pasada y sin enfatizar mayormente, la equivalencia entre la masa inercial y la gravitacional⁶¹³.

Con el acervo de demostraciones de los Libros I y II, Newton está preparado para construir, en el Libro III, el concepto de Gravitación Universal.

En la Proposición I. Teorema I del Libro III se demuestra que los satélites de Júpiter y Saturno son mantenidos en sus órbitas por fuerzas que tienden hacia los planetas correspondientes y que son inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias entre los centros de los planetas y sus satélites, basándose la demostración en resultados previos que implican que dichos satélites recorren áreas iguales en tiempos iguales en torno al planeta, ya que cumplen con la proporcionalidad de la potencia $3/2$ entre los periodos y las distancias. La Proposición II. Teorema II, es equivalente a la anterior, pero referida a las órbitas de los planetas primarios y la Proposición III. Teorema III, plantea lo mismo, pero para el caso de la Luna respecto de la Tierra⁶¹⁴.

Como muestra de lo puntilloso de Newton en sus construcciones, basta hacer notar que en ninguna de estas proposiciones hace referencia alguna al carácter elíptico de las órbitas, necesitando únicamente las Proposiciones II, III, IV y XLV.

La Proposición IV. Teorema IV, representa la identificación entre la fuerza centrípeta que retiene a la Luna en su órbita con la fuerza de gravedad que se observa en la superficie terrestre. En palabras de Newton:

"Que la Luna gravita hacia la Tierra y es continuamente apartada de su movimiento rectilíneo y retenida en su órbita por la fuerza de gravedad"⁶¹⁵.

Para la demostración, Newton apela a los datos, acerca de la distancia media de la Luna a la Tierra, de Ptolomeo, Copérnico, Street y Tycho y a las mediciones francesas del tiempo de revolución de la Luna, para comparar con los datos de Huygens sobre la caída de los cuerpos en la superficie terrestre, de

⁶¹² ibíd., p. 554.

Los experimentos a los que hace referencia son expuestos, con extremo detalle, en el Escolio al final de la Sección VI. (cfr. Newton, I., (1982), pp. 567-578).

⁶¹³ En 1827, Bessel realizó una versión mejorada de los experimentos de Newton con péndulos y verificó la igualdad entre las masas inerciales y gravitacionales, con una precisión de dos partes en 10^5 . En 1890 Eötvös planteó un arreglo experimental que le permitió mejorar la precisión a unas cuantas partes en 10^9 . En 1964, Dicke confirmó este resultado para aluminio y oro, con una precisión de una parte en 10^{11} . En 1971, Braginsky mejoró aún más la precisión, llevándola a una parte en 10^{12} . (cfr. Sartori, L., (1996), pp. 249-253).

⁶¹⁴ cfr. Newton, I., (1982), pp. 667-669.

⁶¹⁵ Newton, I., (1982), p. 669.

manera que "... la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es, en la misma superficie de la Tierra, igual a la fuerza de gravedad que observamos aquí en los cuerpos pesados"⁶¹⁶. Apelando ahora a las Reglas para Filosofar I y II, que señalan la pertinencia de asignar a los mismos efectos las mismas causas, Newton concluye que "... la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es precisamente la misma fuerza que comúnmente llamamos gravedad..."⁶¹⁷.

En el Escolio a esta proposición, Newton recalca que "... puesto que ambas fuerzas, es decir, la gravedad de los cuerpos pesados y las fuerzas centrípetas... se dirigen hacia el centro de la Tierra y son semejantes e iguales entre sí, ambas tendrán (por las Reglas I y II) una y la misma causa. Y, en consecuencia, la fuerza que retiene a la Luna en su órbita es precisamente la misma fuerza que llamamos gravedad..."⁶¹⁸.

La Proposición V. Teorema V, representa la generalización de la idea de gravitación en torno a un centro, de forma tal:

"Que los planetas circunjovianos gravitan hacia Júpiter, los que circundan Saturno hacia Saturno, los que circundan al Sol hacia el Sol, siendo apartados del movimiento rectilíneo y retenidos en órbitas curvilíneas por las fuerzas de gravedad"⁶¹⁹.

Para la demostración, Newton apela a la Regla II, ya que si los satélites de Júpiter y Saturno, en torno a dichos planetas, y los planetas en torno al Sol "... presentan el mismo aspecto de la revolución de la Luna en torno a la Tierra... tienen que obedecer a la misma especie de causas, especialmente puesto que se ha demostrado que las fuerzas de que dependen dichas revoluciones tienden hacia los centros de Júpiter, Saturno y el Sol, y que dichas fuerzas, al alejarse de Júpiter, Saturno y el Sol, decrecen en la misma proporción y obedeciendo a la misma ley de la gravedad al alejarse de la Tierra"⁶²⁰.

La universalidad del concepto de Gravitación se fortalece cuando, en el Corolario I de esta proposición, introduce a la Tercera Ley y plantea el carácter interactivo de la relación gravitacional, de forma que "... Júpiter gravitará, en consecuencia, hacia todos sus satélites, Saturno hacia los suyos, la Tierra hacia la Luna y el Sol hacia todos los planetas primarios"⁶²¹.

La orgía cósmica de interacciones entre los cuerpos celestes se completa, en el Corolario III, al dar un paso más y asegurar que:

⁶¹⁶ ibíd., p. 670.

⁶¹⁷ ibíd., p. 670. El subrayado es mío.

⁶¹⁸ ibíd., p. 671.

⁶¹⁹ ibíd., p. 671.

⁶²⁰ ibíd., p. 672.

⁶²¹ ibíd., p. 672.

"Todos los planetas gravitan unos hacia otros... A ello se debe que Júpiter y Saturno, al acercarse a su conjunción, perturben sensiblemente sus movimientos con su atracción mutua. Igualmente perturba el Sol los movimientos de la Luna, y tanto el Sol como la Luna perturban nuestro mar, como más adelante explicaremos"⁶²².

En la Proposición VI. Teorema VI, Newton introduce un nuevo elemento, la masa de los cuerpos, al plantear:

"Que todos los cuerpos gravitan hacia todos los planetas, y que los pesos de los cuerpos hacia cualquier planeta, a distancias iguales del centro del planeta son proporcionales a las cantidades de materia que respectivamente contienen"⁶²³.

Como señala Chandrasekhar "... esta proposición es el centro y el núcleo de los argumentos de Newton para la universalidad de su ley de gravitación: la igualdad universal de las masas inerciales y gravitacionales"⁶²⁴. En este sentido, es obvio que la clave para la demostración de la proposición es la Proposición XXIV del Libro II.

Al terminar esta demostración, con sus cinco corolarios, nos encontramos en lo que podría considerarse el punto climático de los *Principia*, el momento en el que Newton siente que ha construido, pacientemente, los cimientos que le permiten formular, en la Proposición VII. Teorema VII, la Ley de Gravitación Universal:

"Que el poder de la gravedad pertenece a todo cuerpo en proporción a la cantidad de materia que cada uno contiene"⁶²⁵.

En la demostración a esta proposición, Newton apela a la Proposición LXIX del Libro I, al señalar:

"Ya hemos probado antes que todos los planetas gravitan unos hacia otros, y también que la fuerza de gravedad hacia cada uno de ellos, considerada

⁶²² ibíd., p. 672.

Las perturbaciones mutuas entre Júpiter y Saturno es un tema que le inquietó a Newton desde, al menos, diciembre de 1684, ya que en una carta a Flamsteed del 3 de diciembre, le señalaba su sorpresa por el hecho de que la órbita de Saturno no cumpliera con la Tercera Ley de Kepler, sospechando que la discrepancia podía deberse a la perturbación producida por Júpiter, en la conjunción de ambos planetas. En su respuesta, del 5 de enero de 1685, Flamsteed dejaba ver su sorpresa acerca de la idea de que fueran las mutuas influencias las responsables de las variaciones y le daba información sobre sus propias observaciones. En la respuesta de Newton, del 12 de enero de 1685, éste se mostraba preocupado pues los nuevos datos le indicaban que había sobrestimado el efecto de Júpiter, haciéndolo sospechar que podría existir otra causa que modificara la proporción kepleriana. (cfr. Wilson, C., (1970), pp. 165-167).

⁶²³ Newton, I., (1982), p. 673.

⁶²⁴ Chandrasekhar, S., (1995), p. 362.

⁶²⁵ Newton, I., (1982), p. 676.

particularmente, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares al centro del planeta. De donde se sigue (por la Proposición LXIX, Libro I, y sus corolarios) que la gravedad que tiende hacia todos los planetas es proporcional a la materia que éstos contienen"⁶²⁶.

Finalmente, el largo camino recorrido, arriba a la famosa expresión matemática para la Gravitación Universal:

$$\mathbf{F} \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} .$$

Como si esto no bastara, al continuar la demostración, Newton señala que:

"Por lo demás, puesto que todas las partes de un planeta A gravitan hacia otro planeta B, y la gravedad de cada una de las partes es a la gravedad del todo como la materia de la parte a la materia del todo, y puesto que (por la Ley III) a cada acción corresponde una reacción igual, el planeta B, por su parte gravitará hacia todas las partes del planeta A, y su gravedad hacia una parte cualquiera será a la gravedad hacia el todo como la materia de la parte a la materia del todo"⁶²⁷.

La imagen de todos los cuerpos gravitando entre sí, es llevada hasta las partes de los cuerpos, en una especie de danza cósmica, que no obstante su endemoniada complejidad, produce lo que Newton califica (en el Escolio General) como el "... elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas..."⁶²⁸.

En el proceso de transformaciones conceptuales que le permiten a Newton arribar a la Gravitación Universal, hay que resaltar el importante papel que juega la Tercera Ley⁶²⁹, pues es a través de ella que se transforma la fuerza proveniente del Sol que actúa sobre los planetas, en una fuerza mutua entre el sistema Sol-planeta, y entre los propios planetas y éstos con los satélites, en un juego de interacciones en las que, como señala Newton en *De Mundi*, "... puede considerarse a un cuerpo como atrayente y al otro como atraído, pero esta distinción es más matemática que natural. En realidad la atracción es de cada cuerpo sobre cada cuerpo y por tanto del mismo género en todos"⁶³⁰.

La Proposición VIII. Teorema VIII, es la famosa demostración relativa a la atracción entre dos esferas, en la que plantea que:

⁶²⁶ ibíd., p. 676.

⁶²⁷ ibíd., p. 677.

La Proposición VII es, para Newton, tan definitiva, que es la única de las trece proposiciones a las que he hecho referencia, que es rematada con Q.E.D., *Quod erat demonstrandum*.

⁶²⁸ ibíd., p. 814.

⁶²⁹ cfr. Cohen, I.B., (1987).

⁶³⁰ Newton, I., (1983), p. 66.

"Si en dos esferas que gravitan la una hacia la otra la materia es semejante en todos los lugares circundantes y equidistante de los centros, el peso de cada una de las esferas hacia la otra será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros"⁶³¹.

Como señalé con anterioridad, la demostración de esta proposición se basa en las Proposiciones LXXV y LXXVI del Libro I, y representa el resultado que Newton necesitaba para estar seguro de que se podía generalizar el concepto de Gravitación para la gravedad cercana a un planeta.

Podría decirse que dado que la Gravitación Universal ya estaba planteada en la Proposición VII, la Proposición VIII no representa más que una puntualización, cuya relevancia radica más en la importancia histórica que tuvo en la creación del concepto, que en lo que aporta al ser colocada después de la Proposición VII.

A partir de este punto, las restantes cinco proposiciones tienen un carácter peculiar pues lo que agregan es de diversas índoles. Así, las Proposiciones IX y X pueden considerarse poco relevantes⁶³².

Antes de la Proposición XI, se encuentra la Hipótesis I, a la cual ya hice referencia al tratar los absolutos newtonianos.

La Proposición XI. Teorema XI es importante ya que en ella se introduce la idea de centro de gravedad al señalar:

"Que el centro común de gravedad de la Tierra, el Sol y todos los planetas está inmóvil"⁶³³.

⁶³¹ Newton, I., (1982), p. 677.

⁶³² La Proposición IX señala: "Que la fuerza de gravedad, considerada hacia abajo desde la superficie de los planetas, decrece aproximadamente en proporción a las distancias al centro de los planetas". (Newton, I., (1982), p. 680).

Lo que se plantea en esta proposición es que dado que la fuerza de la gravedad que ejercen los planetas sobre una partícula viene dada por Ley de la Gravitación Universal como:

$$\mathbf{F} = -\frac{GM_p m}{r^2}$$

(donde G es la constante de gravitación universal, M_p la masa del planeta, m la masa de la partícula y r el vector de posición de la partícula, cuyo origen se encuentra en el centro del planeta), si la partícula penetra al planeta, ésta sólo sentirá la atracción debida a la masa interna y no la debida a la cáscara externa del planeta. Como la masa está dada por $M_p = \rho V$, donde ρ es la densidad del planeta (que supondremos constante) y $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ es el volumen, entonces, la fuerza

que actúa sobre la partícula vendrá dada por: $\mathbf{F} = -\frac{4}{3}\pi G m r$.

La Proposición X es de carácter totalmente distinto y se refiere a que "... los movimientos de los planetas en los cielos pueden subsistir durante un tiempo desmesurado". (Newton, I., (1982), p. 680). El planteamiento parece destinado a calmar a aquellos que puedan llegar a pensar que el Sistema del Mundo puede colapsarse súbitamente.

Como señalé en la parte relativa a los absolutos newtonianos, en la demostración de esta proposición Newton hace trampa al demostrar, por motivos ideológicos, la existencia de un marco de referencia estático (absoluto). Lo importante de esta proposición se refiere a la introducción del concepto de centro común de gravedad, que le permite plantear, en la Proposición XII:

"Que el Sol es agitado por un movimiento continuo, pero nunca se aleja mucho del centro común de gravedad de todos los planetas"⁶³⁴.

En estas proposiciones, está implícita la imposibilidad de hacer cálculos exactos de los movimientos planetarios ya que, aparentemente, uno sólo está posibilitado a calcular órbitas promedio en torno al centro de gravedad⁶³⁵.

En la Proposición XIII. Teorema XIII, finalmente, Newton regresa al problema que, presuntamente, dio origen a los *Principia*, que es el relativo al tipo de órbitas planetarias las que, tal como lo plantea la Primera Ley de Kepler, son elipses con el Sol en uno de los focos. A decir de Newton:

"Que los planetas se mueven por elipses que tienen su foco común en el centro del Sol, y que, mediante radios trazados a dicho centro, describen áreas proporcionales a los tiempos de descripción"⁶³⁶.

En la demostración, Newton apela a las Proposiciones I y XI y al Corolario I de la Proposición XIII del Libro I, aunque acotando que la verdad de la proposición se basa en la consideración del Sol inmóvil y de que los planetas no actúen unos sobre otros, lo cual si bien no es estrictamente cierto, representa una buena aproximación dado que, en general, las acciones de "... unos planetas sobre otros son tan reducidísimas que pueden ignorarse"⁶³⁷. Sin embargo "... la acción de Júpiter sobre Saturno no puede ignorarse, pues la fuerza de la gravedad hacia Júpiter es a la fuerza de gravedad hacia el Sol... como 1 a 1067. En consecuencia, en la conjunción de Júpiter y Saturno... la gravedad de Saturno hacia Júpiter será a la gravedad de Saturno hacia el Sol... como 1 a aproximadamente 211. La consecuencia de ello es una perturbación de la órbita de Saturno en cada conjunción de este planeta con Júpiter, perturbación tan sensible que intriga a los astrónomos"⁶³⁸.

⁶³³ Newton, I., (1982), p. 682.

⁶³⁴ ibíd., p. 682

⁶³⁵ No obstante que no hay ninguna indicación de cómo calcular el centro de gravedad, el único camino newtoniano de hacerlo, a decir de Wilson (cfr. Wilson, C., (1970), p. 161), es a partir del Corolario II a la Proposición VIII del Libro III.

Newton, en *De Mundi*, plantea que el "... centro común de gravedad se obtiene, pues, a partir de los pesos hallados más arriba del Sol y de los planetas y de las situaciones relativas entre todos ellos... ". (Newton, I., (1983), p. 73).

⁶³⁶ Newton, I., (1982), p. 683.

⁶³⁷ ibíd., p. 684.

⁶³⁸ ibíd., p. 684. El subrayado es mío.

En este punto, Newton está mostrando las diferencias existentes entre trabajar en el mundo matemático, que es exacto, o trabajar en el mundo físico. Las Leyes de Kepler son exactas en el mundo matemático mientras que en el físico son aproximaciones, ya que, como señala en la tercera versión de *De Motu*, "... considerar simultáneamente todas estas causas de movimiento y definir estos movimientos mediante leyes exactas que permitan un cálculo apropiado, si no me equivoco, excede la capacidad de todo el entendimiento humano"⁶³⁹.

Ya para terminar la demostración de la Proposición XIII, Newton señala que la órbita de la Tierra es sensiblemente perturbada por la Luna, pero que sin embargo, el "... centro común de gravedad de la Tierra y la Luna se mueve por una elipse en torno al Sol en el foco de ésta y, mediante un radio trazado al Sol, describe áreas proporcionales a los tiempos de descripción"⁶⁴⁰.

El comentario anterior muestra el camino a seguir en la descripción de los fenómenos tanto celestes como terrestres. En este camino, el concepto de centro de gravedad juega un papel fundamental.

Una vez construido el concepto de Gravitación Universal⁶⁴¹, Newton sedica a aplicarlo para explicar el comportamiento de la Luna, la causa de las mareas⁶⁴², la precesión de los equinoccios y el movimiento de los cometas.

⁶³⁹ Newton, I., (1965a), p. 301.

⁶⁴⁰ Newton, I., (1982), p. 685.

⁶⁴¹ La idea de la Gravitación Universal no fue aceptada por los cartesianos. La negativa de Leibniz se da como una consecuencia inmediata de su rechazo por la acción a distancia. De su correspondencia con Huygens se desprende que él nunca trabajó en detalle la teoría cartesiana de los vórtices y su único argumento se relaciona con la posibilidad de explicar, en términos de vórtices, el movimiento de los planetas en la misma dirección.

Ante la objeción, por parte de Huygens, relativa a la incompatibilidad entre vórtices y órbitas elípticas, así como con las variadas trayectorias de los cometas, Leibniz responde que estas dificultades pueden superarse, pero sin especificar cómo. (cfr. Alexander, H.G., (ed.), (1976), pp. XVIII-XIX).

En la correspondencia Leibniz-Clarke, Leibniz plantea que "... la atracción de los cuerpos... es una cosa milagrosa, ya que no puede ser explicada por la naturaleza de los cuerpos". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 30). A decir de Leibniz, estos "... milagros... los cuales algunos hombres empiezan a revivir bajo el especioso nombre de fuerzas... nos conducen otra vez al reino de la oscuridad". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 92).

Para Leibniz la gravitación es "... una cosa quimérica, una cualidad oculta escolástica". (En Alexander, H.G., (ed.), (1976), p. 94).

La crítica cartesiana al newtonismo se mantuvo durante la primera mitad del siglo XVIII y cuando parecía que las expediciones científicas francesas a Laponia (1736-1737) y Perú (1735-1744) habían aplacado las críticas, al comprobar el achatamiento terrestre en los polos, apareció, en 1769, en el *Journal des Beaux-Arts et des Sciences*, un escrito firmado por Jean Coultaud en el que describía experimentos con péndulos llevados a cabo en las montañas, con los que, presuntamente, probaba que contrariamente a la ley del cuadrado inverso, el peso de un objeto se incrementaba con la distancia. Los resultados de Coultaud fueron confirmados por Mercier. Estos experimentos provocaron un debate de ocho años hasta que finalmente se comprobó que los experimentos de Coultaud y Mercier eran falsos y que, incluso, Coultaud y Mercier eran personas ficticias. (cfr. Evans, J., (1996)).

Por el contrario, Laplace en el prefacio de su *Méchanique Céleste* (obra en cinco tomos que apareció entre 1799 y 1825) señalaba que: "Hacia el final del siglo diecisiete, Newton publicó su

Los *Principia* terminan con el famoso Escolio General, en el que Newton reconoce su límite:

"Hasta aquí hemos explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza gravitatoria, pero no hemos asignado aún causa a esa fuerza. Es seguro que debe proceder de una causa que penetra hasta los cuerpos mismos del Sol y los planetas, sin sufrir la más mínima disminución de su fuerza, que no opera de acuerdo con la cantidad de las superficies de las partículas sobre las que actúa... sino de acuerdo con la cantidad de materia sólida contenida en ellas, propagándose en todas direcciones y hasta inmensas distancias y decreciendo siempre como el cuadrado inverso de las distancias... Pero hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos y no finjo hipótesis"⁶⁴³.

descubrimiento de la gravitación universal. Desde esa época, los matemáticos han tenido éxito en reducir todos los fenómenos conocidos a esta gran ley de la naturaleza y han dado así a las teorías de los cuerpos celestes y a las tablas astronómicas un grado de precisión inesperado". (En Cohen, I.B., (1985), p. 172).

⁶⁴² En una carta a Leibniz, en 1690, Huygens comentaba que: "En lo que concierne a la causa de las mareas dada por M. Newton, no me encuentro de ninguna manera satisfecho por ella, ni por todas las otras teorías que él construye sobre su principio de atracción, el cual me parece absurdo... Y con frecuencia me he preguntado como él pudo meterse en todo el problema de hacer tal cantidad de investigaciones y cálculos difíciles sin otro fundamento que este principio". (En Chandrasekhar, S., (1995), p. 399).

⁶⁴³ Newton, I., (1982), pp. 816-817. El subrayado es mío.

CAPÍTULO V

La Tradición de Investigación Newtoniana

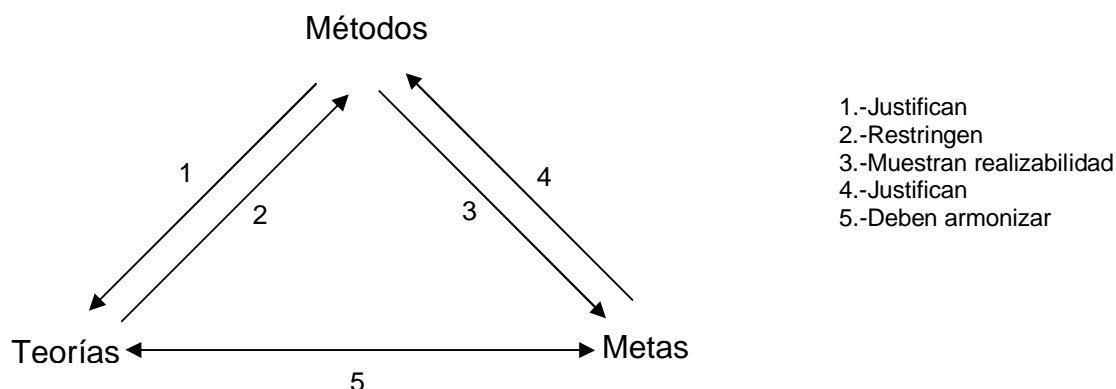
Introducción

Del análisis de los tres niveles (axiológico, metodológico y teórico) de la TI newtoniana, se desprende la variedad y complejidad de los intereses de Newton. Por un lado, pretende resolver los problemas científicos de la época, tales como la construcción de una dinámica consistente con los planteamientos cinemáticos de Galileo, la teoría del impacto de Huygens y la cosmología kepleriana, así como sistematizar el estudio empírico de la Óptica y por otro, plantear patrones de evaluación para la Filosofía Natural, pasando por su proyecto de construir un discurso unificado que incluyese a la Filosofía Natural, la Matemática, la Alquimia y la Teología.

Este proyecto intelectual, que da sus mejores frutos en los *Principia*, se encuentra diseminado en la vasta obra que abarca a los *Principia*, la *Óptica*, los escritos en Matemáticas, la cantidad de escritos en Filosofía Natural que no fueron publicados en su época, la correspondencia de Newton, así como la infinidad de tratados que versan sobre Alquimia y Teología, llamando la atención que todo este aparente caos discursivo, obedece a una concepción unificada que pretende relacionarse armónicamente y que tiene por objetivo último arribar a Dios, partiendo de los fenómenos.

La Tradición de Investigación Newtoniana

Para intentar dilucidar las complejas relaciones entre los niveles que componen la TI newtoniana, el modelo reticular propuesto por Laudan provee de una herramienta de análisis, según la cual, los niveles se interrelacionan a través de lo que él denomina red triádica de justificación que, como señalé con anterioridad, puede visualizarse de la siguiente manera



Desde este marco global de análisis, ninguno de los niveles es privilegiado por lo que, aunque para el análisis se parta de uno de ellos, esto no significa ningún tipo de jerarquización.

Si se parte de la relación entre la teoría y el método, nos encontramos con que, en lo que a los *Principia* se refiere, se puede observar que la metodología justifica, de diversas formas, a la teoría. En primera instancia se puede señalar que la estructura misma del discurso está planteada siguiendo las pautas metodológicas newtonianas. En este sentido, la aparición tan temprana, en la Sección Básica, de las Leyes de Newton, se justifica por la explicación que hace Newton, en el Escolio posterior a las leyes, según la cual estas leyes representan conocimiento que parte de los fenómenos de caída libre (estudiada por Galileo) y los choques (estudiados por Wren, Wallis y Huygens), significando las leyes, la elevación a rango de principios universales responsables de dichos fenómenos, para ser utilizados, en adelante, para explicar otros fenómenos. La trinidad metodológica newtoniana Fenómenos-Fuerzas-Fenómenos está plasmada en la peculiar axiomatización de los *Principia*, en la que, una vez establecidas las leyes, lo que toca, justificado por la metodología, es hacer demostraciones matemáticas generales que desbrocen el camino para poder regresar, en el Libro III, a los fenómenos celestes. En este hacer matemáticas de los Libros I y II, llama la atención, como señalé anteriormente, el hecho de que la matemática de los *Principia* no se basa en los algoritmos fluxionales creados por Newton, sino que la estructura básica utilizada sea lo que denominé geometría fluyente, lo cual puede deberse a diversas causas, pero independientemente de las mismas, el uso de geometría fluyente está ampliamente justificado por el hecho de que la aproximación geométrica es capaz de mantener constantemente al referente empírico, lo cual es fundamental para la concepción metodológica de Newton.

De igual manera, es el método newtoniano el que provee de elementos no sólo para validar determinados planteamientos, sino también para rechazar otros, que es lo que hace Newton en la parte final del Libro II, al descalificar la conceptualización cartesiana relativa a los vórtices, en tanto que representa un constructo hipotético, en el peor sentido, en el sentido rechazado explícitamente en el *hypotheses non fingo*. Además, si se le concede el beneficio de la duda y se le somete a la prueba metodológica newtoniana, fracasa rotundamente pues, elevada a la categoría de principios, "... la hipótesis de los vórtices es completamente irreconciliable con los fenómenos astronómicos, y confunde más que aclara los movimientos celestes"⁶⁴⁴.

De lo anterior se puede observar la importancia de la relación entre método y teoría, pues el método de Newton es el que es capaz de zanjar la disputa con Descartes, justificando el abandono de los vórtices y preparando el camino para la aceptación de la gravitación como causa verdadera de los fenómenos celestes. Esto lo hace en el Libro III, al proponer a la gravedad como causa universal, verdadera y suficiente, de los fenómenos. La generalización está

⁶⁴⁴ Newton, I., (1982), p. 652.

justificada por las Reglas para Filosofar que aparecen, precisamente, al principio del Libro III, para validar, metodológicamente, la construcción teórica que viene a continuación.

Como se desprende de lo dicho anteriormente, existe una estrecha relación entre la metodología y la teoría newtoniana, en tanto que la primera justifica la ontología de las fuerzas que plantea la teoría.

En lo relativo a la relación que va del nivel teórico al metodológico, se puede encontrar un hecho que me parece relevante, que se refiere a que la teoría newtoniana, y en particular la conceptualización relativa a la Gravitación Universal, alcanza tal complejidad (dadas las interacciones entre todos los cuerpos celestes, los cuales gravitan unos hacia otros e incluso las partes de los cuerpos gravitan entre sí) que, la solución exacta del problema, como señala el propio Newton "... excede la capacidad del entendimiento humano"⁶⁴⁵. Efectivamente, resulta imposible considerar todas las interacciones y es necesario, cuando se trabaja en el mundo físico, introducir consideraciones metodológicas que nos permitan llegar a resultados aproximados que podamos considerar como aceptables. El mismo Newton nos da el ejemplo de cómo proceder, cuando en la Proposición XIII. Teorema XIII, Libro III, considera al Sol inmóvil y desprecia las interacciones entre los planetas, pero acotando que la acción de Júpiter sobre Saturno no es despreciable. En este sentido, puede decirse que la complejidad de la teoría introduce un elemento de restricción sobre las consideraciones metodológicas, pues es necesario introducir, al resolver problemas reales, consideraciones específicas que permitan la solución matemática.

Esta diferenciación entre el mundo matemático ideal y el mundo físico ya estaba planteada desde, al menos, Galileo, pero me parece que no adquiere, hasta los *Principia*, el *status* de auténtico requerimiento metodológico, que se preserva hasta nuestros días, independientemente del perfeccionamiento de los métodos matemáticos utilizados para la descripción del mundo físico. Como ejemplo de lo anterior, baste considerar que al atacar matemáticamente el problema de tres cuerpos (en donde ya se hizo una primera restricción al pasar de todos los cuerpos a simplemente tres), nos encontramos con nueve ecuaciones diferenciales de segundo orden acopladas, que es un problema irresoluble, de manera exacta, no digamos para la matemática de los siglos XVII y XVIII, sino para la matemática de nuestros días. En la solución de dicho problema, se hace necesario el recurrir a aproximaciones que lo simplifiquen.

Aunque no es el objetivo de este trabajo el analizar en detalle la teoría plasmada en la *Óptica*, se puede señalar que la imposibilidad de matematizar los fenómenos ópticos, a la que hice referencia en el Capítulo II, que conduce a la ampliación de la metodología newtoniana, muestra el tipo de relación existente entre el nivel teórico y el metodológico, ya que la teoría que Newton es capaz de construir, limita al método matemático propuesto en los *Principia*, obligándolo a

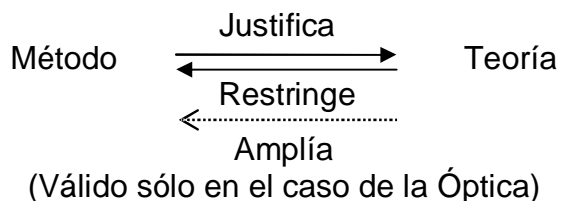
⁶⁴⁵ Newton, I., (1965a), p. 301.

refugiarse en una metodología estrictamente empírica, lo cual representa que, por un lado, la teoría restringe al método, como propone Laudan, pero por otro lado, amplía el horizonte metodológico al dar cabida a la aproximación empírica no matematizada como forma de justificación y/o rechazo de planteamientos. Esta paradójica relación entre teoría y método puede estar relacionada con el carácter no acabado de la *Óptica* y parece apuntar hacia el hecho de que la relación entre niveles parece ser más compleja de lo que supone el modelo de estructura reticular, pues pueden existir relaciones que no se dan siempre, pero que pueden aparecer en determinadas TI o, como en el caso de la *Óptica*, en algunas partes de una TI como la newtoniana.

Por lo que se refiere a la relación que va del método a la teoría, se observa que el método empírico utilizado en la *Óptica*, justifica ampliamente a la teoría plasmada en esta obra, pues posibilita la demostración del tipo de aseveraciones que en ella se hacen y que, además, permite entender la peculiar forma que asume la *Óptica* en su parte final, cuando Newton se dedica, en las cuestiones, a especular, interrogativamente, sobre aspectos que apuntan en diversas direcciones y a las que no ha podido llegar, formalmente, utilizando su método inductivo. En las cuestiones, Newton plantea, sin hacerlo de manera concluyente, lo que él considera deben ser los caminos a seguir en las investigaciones ulteriores. El planteamiento metodológico de sólo aceptar hipótesis heurísticas, justifica el carácter interrogativo de las cuestiones.

Recapitulando, podría decirse que el caso de la TI newtoniana, las restricciones del nivel teórico al metodológico se refieren a la utilización de la matemática como herramienta epistémica. La restricción en el caso de la *Óptica*, sería la de que no siempre se puede matematizar y en los *Principia*, que no siempre se puede alcanzar la precisión perfecta. Aunque esto pueda parecer, en nuestros días, una obviedad, me parece extraordinario que esté presente, desde el siglo XVII, una respuesta metodológica a este tipo de restricciones.

Las relaciones entre teoría y método se verían, esquemáticamente, de la siguiente manera:



Al comparar la relación existente entre el nivel axiológico y los otros dos niveles nos encontramos, en primera instancia, con la diversidad de las metas

newtonianas. Por un lado, se tiene la pretensión evidente, la de resolver problemas y por otro, la no tan evidente de generar criterios acerca de cómo se debe funcionar al hacer Filosofía Natural y cómo se deben justificar y evaluar los resultados obtenidos. Adicionalmente a estas metas, se encuentra otra meta que consiste en pretender generar un discurso totalizador que abarque a la Teología, interconectándola con la Filosofía Natural a través de la Alquimia, con la finalidad última (y no conseguida) de arribar, discursivamente, a Dios.

Si se compara la pretensión de resolver problemas con la teoría newtoniana plasmada en los *Principia* se encontrará que la relación entre ambos niveles difícilmente podría ser más satisfactoria, dada la impresionante cantidad de problemas que resuelve el planteamiento newtoniano. En particular, es notable la capacidad para resolver los tres grandes problemas de la mecánica teórica de la época, la caída libre, los choques y el movimiento circular (curvilíneo) con los que, además recupera, orgánicamente, elementos teóricos de otras tradiciones como son la galileana y la cartesiana. El otro gran problema que se resuelve es el cosmológico, lo cual implica la solución de muchos problemas específicos, como las mareas y los movimientos de los cometas, mostrando, en este caso, la capacidad de absorber elementos de la teoría kepleriana. Para la resolución de dichos problemas, la teoría newtoniana acierta al resolver el gran problema que, de alguna manera, los engloba a todos, que es el de construir una dinámica consistente, que explicita (con todos los problemas que señalé anteriormente) un concepto de fuerza de extraordinario poder explicativo. La capacidad de resolver problemas de la teoría newtoniana es de tal magnitud que, incluso, un planteamiento cuya relevancia se ubica más en el ámbito de conexión con la pretensión de arribar a Dios que con la finalidad de resolver problemas estrictamente científicos, como es el relativo a la existencia del espacio absoluto, tiene la virtud de dar una explicación de fenómenos observables como el de un cubo que cuelga de una cuerda a la que se hace girar.

En este sentido, es evidente que entre la meta de resolver problemas que es, a decir de Laudan, la meta fundamental de la ciencia, y la teoría newtoniana plasmada en los *Principia*, existe una gran concordancia o, utilizando el término usado en la red triádica, se encuentra que la meta y la teoría, armonizan.

En lo que se refiere a la meta de establecer patrones relativos a la forma de trabajar en Filosofía Natural, la teoría newtoniana es absolutamente consistente con ella, como se observa en la estructura de los *Principia*, que representa un ejemplo, obsesivamente didáctico, del tipo de criterios aceptables para la justificación de determinados planteamientos, así como las formas adecuadas para invalidar otros, como se observa en la asimilación que hace de varios aspectos de los discursos de Galileo, Huygens y Kepler y de la invalidación sistemática de las tesis cartesianas. Este intento por armonizar teoría y metas es lo que, probablemente, lleva a Newton a generar una estructura axiomática (jerárquico-aplicativa) novedosa en la que la matemática juega un papel fundamental al proveer de demostraciones generales no sujetas a discusión, con las que Newton pretende obligar a sus adversarios a responder en términos de los

estándares que él propone, como se puede observar en el auténtico reto que lanza a los cartesianos, en la parte final del Libro II de los *Principia* para que validen sus vórtices en términos de las evidencias que él presenta a lo largo de dicho libro. Además, podría pensarse que el hecho de que los *Principia* no fueran redactados en estilo algorítmico fluxional, sino como geometría fluyente, colaboró en la aceptación de los criterios generales newtonianos, al hacer a la obra no cuestionable en el aspecto matemático.

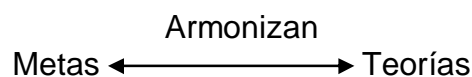
Podría decirse que, también para esta meta, el término armonizar es adecuado para explicar su relación con la teoría.

En lo que a la *Óptica* se refiere, baste apuntar que con respecto al primer objetivo, relativo a la resolución de problemas, éste se cumple, aunque no de manera tan impresionante como sucede con los *Principia*. En lo que se refiere a la meta de establecer criterios, este caso resulta llamativo por el carácter diferente de la *Óptica* con respecto a los *Principia*, ya que aunque Newton quería hacer una obra matemática, la imposibilidad de lograrlo hizo que abandonara su proyecto inicial para construir una obra en la que los criterios de aceptación y rechazo son estrictamente empíricos y en la que los experimentos y las observaciones cargan con todo el peso de la prueba.

Esta flexibilidad del discurso newtoniano ha hecho que autores como Cohen planteen la existencia de una especie de dos Newtons diferentes, siendo que, desde mi punto de vista, lo que tenemos es una muestra del talento de Newton al percatarse del hecho de que aunque el método matemático es el ideal, en los casos en que no se puede aplicar íntegramente, se puede obtener conocimiento seguro, con formas de validación y rechazo que no son matemáticas pero que no se contraponen con dichas formas.

En este punto, es relevante señalar la interrelación entre las dos metas a las que he hecho referencia, pues es la necesidad de resolver problemas lo que lleva a Newton a ampliar sus estándares de validación y rechazo, lo que le permite hacer congruentes ambas metas con la teoría planteada. En este sentido, me parece que también en el caso de la *Óptica* se puede asegurar, sin mayores problemas, que las dos primeras metas del discurso newtoniano, armonizan, más allá de ciertas tensiones, con los elementos teóricos del mismo.

En conclusión, la relación existente entre la teoría newtoniana y dichas metas se podría esquematizar de la siguiente manera:



En lo que se refiere a la relación entre metas y métodos, y restringidos a las dos primeras a las que he hecho referencia, se observa la evidente relación entre la meta relativa a la generación de criterios de validación y rechazo y el planteamiento metodológico newtoniano, ya que dicha meta se refiere, precisamente, a la construcción de una metodología que, en opinión de Newton, sea capaz de convertirse en el patrón aceptado por toda la comunidad, dando la pauta para introducir elementos de racionalidad, capaces de generar los consensos necesarios entre los miembros de dicha comunidad. Esta meta, que podría parecer irrelevante en nuestros días, pues los patrones existen y son aceptados por las diversas comunidades científicas, con sus particularidades específicas, es de lo más relevante en el contexto del siglo XVII, pues era precisamente la inexistencia de criterios generales lo que se encontraba en el fondo de muchas de las disputas y va a ser el newtonismo, con su aceptación generalizada (no inmediata pero claramente progresiva) la que entronice la necesidad de consensos metodológicos, que en primera instancia serán los postulados inductivistas de Newton y que más adelante se ampliarán y modificarán, incluso al interior de la TI newtoniana, pero con la claridad de que deben existir tales criterios de validación que ordenen la práctica científica.

En este sentido, la metodología propuesta por Newton, satisface la concepción laudaniana relativa a mostrar la realizabilidad de dicha meta. Como ejemplo de lo anterior, se puede señalar como entre 1700 y 1800, a raíz del éxito del newtonismo, se entronizó como pretensión axiológica fundamental, la de restringir las teorías a procesos y entidades observables, a través del método de análisis-síntesis pregonado por Newton. A partir de 1750, muchos científicos empezaron a dudar de esta forma de aproximación, ante la evidencia del éxito de teorías como las de la electricidad y la química, que postulaban entidades inobservables. Las discusiones condujeron al planteamiento del método hipotético-deductivo, llegando incluso a proponerse, por parte de Lesage, que el mismo Newton utilizó el método de hipótesis, de manera implícita, ya que hay elementos de conjetura tras cada inferencia deductiva que va más allá de las premisas⁶⁴⁶.

Este ejemplo muestra como se puede ir modificando una TI, sin que ocurran cambios dramáticos en el nivel de las teorías y sin necesidad de que aparezca una nueva TI.

Como se puede observar, la axiología no predetermina el tipo de metodología, sino que simplemente justifica la necesidad de utilizar una metodología específica, siempre y cuando esta metodología sea capaz de mostrar la realizabilidad de las metas que componen, en ese momento, a la TI. De acuerdo con lo anterior, el método de Newton muestra, por un lado, la realizabilidad del objetivo de plantear criterios generales de aceptación y rechazo en Filosofía Natural, y por otro lado, la meta de generar dichos criterios justifica la explicitación de la metodología newtoniana que justifica, a su vez, a la teoría de Newton.

⁶⁴⁶ cfr. Laudan, L., (1984), pp. 56-60 y Laudan, L., (1981), pp. 9-15 y 111-127.

Con respecto al objetivo de resolver problemas y dado que el problema general, que engloba a los problemas específicos, es el de proponer un concepto de fuerza capaz de generar una dinámica consistente, es evidente que dicha meta justifica un planteamiento metodológico como el newtoniano que, explícitamente, propone que el quehacer de la Filosofía Natural es el de partir de los fenómenos para encontrar las fuerzas de la naturaleza, que deben ser asumidas como causas verdaderas de los mismos. Este hecho es relevante en tanto que exhibe la posibilidad de realizar el objetivo pues, como señala en el Escolio General de los *Principia*, refiriéndose a la gravedad, las fuerzas realmente existen y son susceptibles de ser encontradas y utilizadas para explicar fenómenos específicos como los movimientos celestes y las mareas.

En lo que a la *Óptica* se refiere, las dos metas a las que he hecho referencia, justifican el método e incluso justifican las limitaciones y los alcances del discurso, en comparación con lo que sucede en el ámbito de los *Principia*.

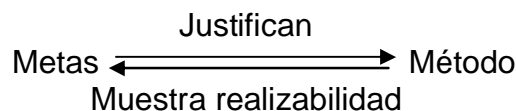
Como se desprende de lo anterior, la cadena justificacionista que va, a decir de Laudan, de las metas al método y de éste a la teoría, se cumple perfectamente para los dos primeros objetivos newtonianos, lo cual puede esquematizarse de la siguiente manera:



Esta justificación se relaciona con el hecho de que el método experimental no matematizado de la *Óptica*, muestra la realizabilidad de las metas, aunque con la limitante de que también muestra la imposibilidad de pretender hacerlo en sentido matemático, que era el plan original de Newton⁶⁴⁷.

Este hecho es importante pues es precisamente la aceptación de tal limitación, lo que posibilita la realizabilidad del objetivo de resolver problemas y enriquece la conceptualización metodológica, de forma tal que el método newtoniano es capaz de abarcar un número mayor de fenómenos, validando la pretensión de convertirse en patrón de justificación y rechazo del quehacer científico en un sentido más amplio.

La relación entre el método de Newton y las dos primeras metas puede visualizarse de la siguiente manera:



⁶⁴⁷ cfr. Shapiro, A.E., (1984).

En lo referente al objetivo de construir un discurso totalizador capaz de llegar a la causa primera, Dios, hay que señalar que, incluso para el propio Newton, la meta no se cumple a cabalidad, pues como él mismo señala, en el Escolio General de los *Principia*, todavía no ha asignado una causa a la gravedad.

Esta meta, que desde una perspectiva actual, nos puede parecer inválida, dado el divorcio que existe en nuestro tiempo entre ciencia y religión era, en tiempos de Newton, perfectamente válida y sería la que le permitiría, eventualmente, conformar un gran sistema unificador.

Lo primero que llama la atención al analizarla es que ella está profundamente relacionada con los otros dos objetivos, pues la consecución de ellos representa el primer paso en la construcción del discurso totalizador, de forma tal que podría decirse que dicha meta que, al menos en sentido moderno podría considerarse como no universalmente aceptada como científica⁶⁴⁸, promueve la realización de las metas que, incluso en la actualidad, pueden aceptarse como científicas⁶⁴⁹ y dado que la consecución de estas últimas representa una parte del proyecto general, podría entenderse, y de hecho así lo entendía Newton, que iba por buen camino, o dicho de otra manera, el éxito en el logro de las metas científicas muestra la realizabilidad de la meta no científica.

La relación entre las metas científicas y la no científica se hace explícita cuando Newton le escribe a Bentley y le dice que cuando escribió el Libro III de los *Principia* (El Sistema del Mundo) lo hizo para que los hombres creyeran en Dios, es decir, que es la finalidad no científica la que promueve la elaboración de la Teoría de la Gravitación, que es la que posibilita el resolver infinidad de problemas, para terminar diciendo que le da gusto que, efectivamente, haya servido para ese propósito, lo que muestra que Newton pensaba que la aceptación de su teoría, debida fundamentalmente a su extraordinaria capacidad para resolver problemas, mostraba que iba bien encaminado hacia su objetivo fundamental que era el de arribar, discursivamente, a Dios, y que el hecho de hacer plausible la existencia de Dios representaba un importante paso.

Con respecto a la *Óptica*, la meta no científica promueve la meta científica de resolver problemas dada la importancia de la concepción corpuscular, plasmada en los estudios ópticos, para el discurso alquimista ya que, como señala Dobbs, "... los principios activos que operan entre las pequeñas partículas de materia en la *Óptica*, son idénticos a aquellos que operan en los trabajos alquímicos"⁶⁵⁰. En este sentido, el problema relativo al tamaño de los corpúsculos es esencial y de hecho, Newton pretende resolverlo en la Proposición VII, Libro II, Parte III al señalar que:

⁶⁴⁸ A partir de este momento me referiré a ella como meta no científica.

⁶⁴⁹ A partir de este momento me referiré a ellas como metas científicas.

⁶⁵⁰ Dobbs, B.J.T., (1982), p. 323.

Esto no debe entenderse como que la concepción corpuscular se deriva de la experiencia alquímica, sino que corpuscularismo y Alquimia interactúan al interior de la concepción newtoniana relativa a la unidad y transformabilidad de la materia.

"El tamaño de las partes componentes de los cuerpos naturales se puede conjeturar a partir de sus colores"⁶⁵¹.

En la proposición llama la atención el que Newton resuelve, cualitativamente, el que podría considerarse el meollo de la filosofía corpuscular, pero dado que para el cálculo se hacen un conjunto de suposiciones no probadas, la proposición se limita a sí misma dado el carácter conjetural que, explícitamente, introduce Newton.

De igual manera, es la meta no científica la que promueve el planteamiento de las cuestiones, entendidas éstas como problemas no resueltos, que deben ser abordados y eventualmente contestados por los seguidores de la TI newtoniana.

Por otro lado, los problemas resueltos tales como el "... descubrimiento y demostración de las diferencias originales de los rayos de luz respecto a la refrangibilidad, reflexibilidad y color, así como de sus accesos alternativos de fácil reflexión y transmisión de las propiedades de los cuerpos tanto opacos como transparentes..."⁶⁵², muestran, para Newton, la realizabilidad de su meta no científica, ya que la cita anterior sirve como preámbulo al planteamiento relativo a la continuidad entre Filosofía Natural y Teología, que restaura la unidad de toda forma de conocimiento.

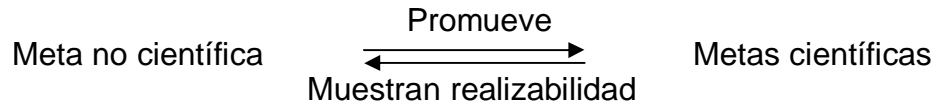
En lo que se refiere a la relación entre la meta no científica y la relativa a construir un conjunto de patrones para la validación y el rechazo de diversos planteamientos, se puede decir que para la primera es de máxima relevancia la aceptación universal de un método que, como el newtoniano, asume la factibilidad de avanzar, inductivamente, desde los fenómenos hasta el mismísimo Dios. Como ejemplo de esta promesa de realizabilidad, basta ver la construcción, a partir de los fenómenos, del espacio absoluto, asumido por Newton como sensorio de Dios. De lo anterior se desprende que la meta no científica promueve a la científica, dado que ésta última muestra la realizabilidad de la primera.

De lo anterior se desprende la necesidad de diferenciar, para el análisis, entre las dos primeras metas, resolver problemas y plantear estándares aceptados universalmente, de la tercera, construir un discurso totalizador, de forma tal que se amplíe la red triádica propuesta por Laudan, para dar cabida, en primera instancia, a relaciones entre los diversos tipos de metas que conforman la TI. Esta relación podría esquematizarse, para el caso de la TI newtoniana, de la siguiente manera:

⁶⁵¹ Newton, I., (1977), p. 225. El subrayado es mío.

En la demostración de esta proposición, por primera vez Newton se atreve a hablar de corpúsculos.

⁶⁵² ibíd., p. 349.



El siguiente paso en el presente análisis, será elucidar las relaciones entre la meta no científica y la teoría, así como con el método, de forma tal que en lugar de una red triádica se tenga una red tetraédrica, compuesta por cuatro niveles que interactúan mutuamente.

La interacción entre la axiología no científica y el nivel teórico se da, fundamentalmente, a través del planteamiento newtoniano relativo a los conceptos absolutos y muy en particular el de espacio absoluto ya que, sin éste, podría decirse que no hay mayor relación entre la meta no científica y la teoría plasmada en los *Principia*.

Los absolutos representan el posible vínculo entre Filosofía Natural y Alquimia, pues a través del concepto newtoniano de espacio, se pretende hacer la conexión con el sensorio de Dios, el espíritu sutilísimo (del Escolio General) y el Éter de las cuestiones que permitirían arribar, alquímicamente, a la causa de la gravedad que, para Newton, debe de ser Dios. A través del espacio absoluto, Newton está construyendo el puente que conecta Filosofía Natural y Alquimia, ya que como señala Dobbs, Newton vio en ésta última "... el epítome de la providencial acción no mecánica de Dios en el Mundo"⁶⁵³.

Aunque para la reflexión en torno a los absolutos Newton se protege y ubica su discusión en un escolio, éste no es cualquiera sino que es el primero de los *Principia* y se encuentra en la importantísima Sección Básica previa al Libro I, lo que le da un énfasis no necesariamente requerido por la teoría. Por si esto fuera poco, es esta necesidad de conectividad entre teoría y meta, lo que obliga a Newton a violar flagrantemente su metodología al incluir la famosa Hipótesis I relativa a la existencia de un punto inmóvil en el espacio absoluto, la cual no es una hipótesis heurística, sino una hipótesis del tipo prohibido por el *dictum hypotheses non fingo*.

Gracias a los absolutos se puede decir que la meta no científica armoniza con la teoría, pero para lograr esta armonía, Newton está forzando, innecesariamente, a la misma.

Con base en lo anterior, no es de extrañar que en la evolución de la TI newtoniana, el abandono de la meta no científica va a ir acompañado de la pérdida del papel prioritario de las concepciones absolutistas, las cuales se van a ir ubicando, cada vez más, en la periferia de la teoría, ya que las metas científicas, sobre todo la de resolver problemas, no requiere, prioritariamente, de los

⁶⁵³ Dobbs, B.J.T., (1982), p. 323.

absolutos, bastándole, en general, con el concepto de marco de referencia inercial.

Aunque el objetivo de construir un discurso totalizador no se cumple con los *Principia*, para Newton es claro que éste es el camino a seguir y que el descubrimiento de la gravedad representa un importante peldaño en la búsqueda de Dios, pues aunque todavía no ha llegado a Él, partiendo de los fenómenos, considera que su Sistema del Mundo es muy útil para que los hombres creen en la existencia de una deidad. El Libro III de los *Principia* no prueba, no demuestra, sino que muestra la necesidad de Dios para el funcionamiento de la Gravitación Universal. La teoría newtoniana permite reconocer a Dios en su obra, en palabras de Newton:

"Aunque cada paso verdadero dado en filosofía no nos lleve inmediatamente al conocimiento de la causa primera, con todo, nos acerca a ella..."⁶⁵⁴.

La causa primera, a la que Newton pretende acercarse a través de un mecanismo de construcción de causas verdaderas, no es una simple idea abstracta más o menos vaga, sino que corresponde a su idea de Dios, construida en sus escritos teológicos. Este Dios único, este Dios actuante del Antiguo Testamento, este Dios de Noé, como señala en el último párrafo de la *Óptica*, le permite a Newton responder al problema de por qué todos los planetas giran en una misma dirección y se mantienen (más o menos) en el mismo plano. Este problema, que sí tenía respuesta en la teoría kepleriana y en los vórtices cartesianos, no la tiene en la Gravitación Universal y la respuesta de Newton, podemos encontrarla en la correspondencia con Bentley, al señalar que "... no hay causa natural que pueda determinar que todos los planetas primarios y secundarios se muevan en la misma dirección y en el mismo plano sin ninguna variación considerable. Esto debe ser el efecto del Designio"⁶⁵⁵. En una siguiente carta a Bentley, Newton afirma que "... la rotación diurna de los Planetas no puede ser derivada desde la gravedad sin que se requiera de un poder divino que se la imprima"⁶⁵⁶.

De igual manera, es posible que en el tipo de Dios que propone Newton se encuentre la respuesta al hecho de que no planteara principios de conservación. En la TI cartesiana se encuentran principios de este estilo, desde el propio Descartes hasta Leibniz, con su concepto de *vis viva* y en muchos momentos Newton parece acercarse a ideas que nos sugieren (a nosotros, lectores modernos) el principio de conservación de la energía, pero Newton nunca da el paso. Por el contrario, la no aceptación de principios de conservación lo lleva a asegurar, en la *Óptica*, que la cantidad de movimiento del mundo no se conserva. Esta ceguera ante algo que a los lectores modernos nos parece tan evidente

⁶⁵⁴ Newton, I., (1977), p. 320.

⁶⁵⁵ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 331.

⁶⁵⁶ En Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), p. 335.

puede deberse, entre otras cosas, no a incapacidad del discurso sino a la necesidad de congruencia entre teoría y meta, ya que un Dios que actúa permanentemente, difícilmente puede reconciliarse con ideas de conservación, mientras que dichos principios son casi indispensables para una TI, que como la cartesiana, parte de una idea de Dios infinitamente más abstracta y como diría Leibniz, no tan ingenua, como la de Newton.

Recapitulando, podría decirse que la relación entre la meta no científica newtoniana y la teoría es bastante compleja, pues la meta le impide a la teoría el ver ciertas cosas y paralelamente la obliga a enfatizar determinados elementos, de forma tal que, con base en ellos, se logra armonizar los dos niveles, de manera que podría hablarse de una especie de armonización forzada que, además, genera problemas a la relación de la teoría con el método, por la incapacidad de éste último para justificar a los absolutos y por la formulación de hipótesis no heurísticas.

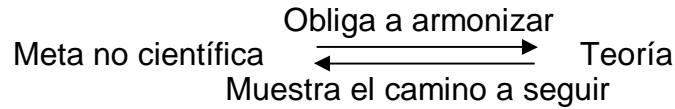
El énfasis en el espacio absoluto se complementa, no sin dificultades⁶⁵⁷, con el planteamiento, hecho en las Cuestiones 17 a 24 de la *Óptica*, relativo a la posible existencia de un Éter extremadamente sutil, que sería el causante de la gravedad y que operaría como causa intermedia entre la voluntad de Dios y los fenómenos naturales.

Al igual que con los *Principia*, la teoría plasmada en la *Óptica*, armoniza de una manera forzada con la meta no científica, pudiendo decirse que la meta no científica obliga a armonizar a la teoría.

En sentido inverso, la teoría planteada en los *Principia* y la *Óptica* exhibe sus límites para la consecución de la meta no científica, lo cual es evidente dado el carácter especulativo del Escolio General de los *Principia* y el carácter interrogativo de las cuestiones de la *Óptica*. Este reconocimiento de los límites muestra, a su vez, el camino a seguir en la búsqueda futura del fin propuesto y depende, en gran medida, de que se logre establecer la conexión entre la teoría y el discurso alquímico. La imposibilidad de construcción, por parte de Newton, de dicho puente, será la causa de que la consecución de la meta no científica no tenga éxito.

De acuerdo con lo anterior, la relación entre la meta no científica y la teoría puede visualizarse de la siguiente manera

⁶⁵⁷ Las dificultades radican en el cambio que tuvo Newton en su concepción original relativa a que Dios maneja todo por su propia presencia a la posterior postura según la cual, el universo está lleno de un fluido al que denomina Éter. Este cambio es evidente al comparar las ediciones de 1706 y de 1717 de la *Óptica*. La hipótesis (heurística) del Éter, que no es otro que ese espíritu eléctrico y elástico del Escolio General de los *Principia*, se contrapone, por ejemplo, con la Proposición X del Libro III de los *Principia* en la que en la parte final del comentario (o elaboración) señala "... que estando las regiones celestes libres de aires y exhalaciones...". (Newton, I., (1982), p. 682).



Como se puede observar de la comparación entre las relaciones metas científicas-teoría y meta no científica-teoría, en este último caso la relación es más compleja ya que mientras que las metas científicas únicamente deben armonizar con la teoría y viceversa, en el caso de las meta no científicas, la relación de armonización va de la meta a la teoría y no a la inversa. Adicionalmente, dicha armonización es forzada, lo que impide hacer determinados planteamientos, como los relativos a principios conservacionales, y obliga a enfatizar otros, como los relativos a los absolutos.

En lo que se refiere a la relación que va de la teoría a la meta, la primera juega un papel de guía para la segunda, pues le muestra el camino a seguir, lo cual no ocurre en el caso de las metas científicas.

La relación entre la meta no científica y el método es, a decir de Newton, sumamente promisoria, pues para él "... no sólo la filosofía natural se perfeccionará en todas sus partes siguiendo este método, sino que también la filosofía moral ensanchará sus fronteras"⁶⁵⁸. En este sentido, aunque la meta no científica todavía no se ha cumplido, Newton cree que si se continúa con el programa, se puede llegar a cumplir, lo cual explica el carácter de las 31 cuestiones planteadas en la parte final de la *Óptica*, con las que pretende trazar las líneas de investigación a futuro, sin comprometerse en afirmaciones tajantes que violarían el sentido no hipotético del método newtoniano. Las cuestiones representan una especie de hipótesis heurísticas que permitirían, utilizando el método, su ulterior confirmación, para conseguir, finalmente, la consecución del objetivo totalizador. Podría decirse que más que mostrar la realizabilidad de la meta, el método provee de esperanzas de realizabilidad ya que como señala Cotes en el prefacio a la segunda edición de los *Principia*:

"Toda filosofía sensata y verdadera se basa en los fenómenos de las cosas, y si estos fenómenos nos llevan inevitablemente... a principios que manifiesten del modo más obvio el plan óptimo y el dominio supremo del ente sapientísimo y potentísimo, no deben ser puestos de lado porque quizá disgustan a algunos hombres... salvo que esos hombres acaben diciendo que toda filosofía debe fundarse sobre el ateísmo. La filosofía no debe corromperse como esos hombres querrían, porque el orden de las cosas no se inmutará.

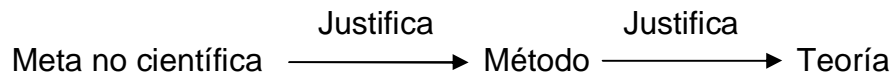
Así pues, jueces probos y equitativos dictarán sentencia a favor de esta razón filosófica excelentísima, que se funda en experimentos y observaciones. Y

⁶⁵⁸ Newton, I., (1977), p. 350.

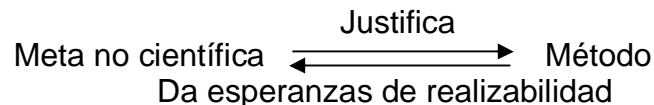
apenas puede decirse o imaginarse la ley y el esplendor otorgados a semejante método..."⁶⁵⁹.

Para Cotes es evidente que, al menos, ya se ha cumplido con el propósito previo al de construir un discurso totalizador, que es el de mostrar la existencia de Dios. Este objetivo intermedio es de la máxima relevancia pues es el que, a ojos de Newton, provee de las esperanzas de realizabilidad del magno propósito de unificación discursiva, aunque en estricto sentido, el método es el responsable de que Dios quede relegado al Escolio General y a las cuestiones y que aunque Newton está convencido de que Dios es la causa de la gravedad, tenga que reconocer que no ha encontrado la causa de la misma, partiendo de los fenómenos. Este carácter limitante del método está basado en el hecho del valor que el nivel axiológico le asigna al metodológico, al considerar a éste último como capaz de encontrar las causas verdaderas de los fenómenos, de forma tal que es la meta la que justifica, a través del método, el realismo a ultranza de Newton.

De lo anterior se desprende que la cadena justificacionista se cumple, incluso, para la axiología que he denominado como no científica, ya que:



La relación entre la meta no científica y el método se vería así:

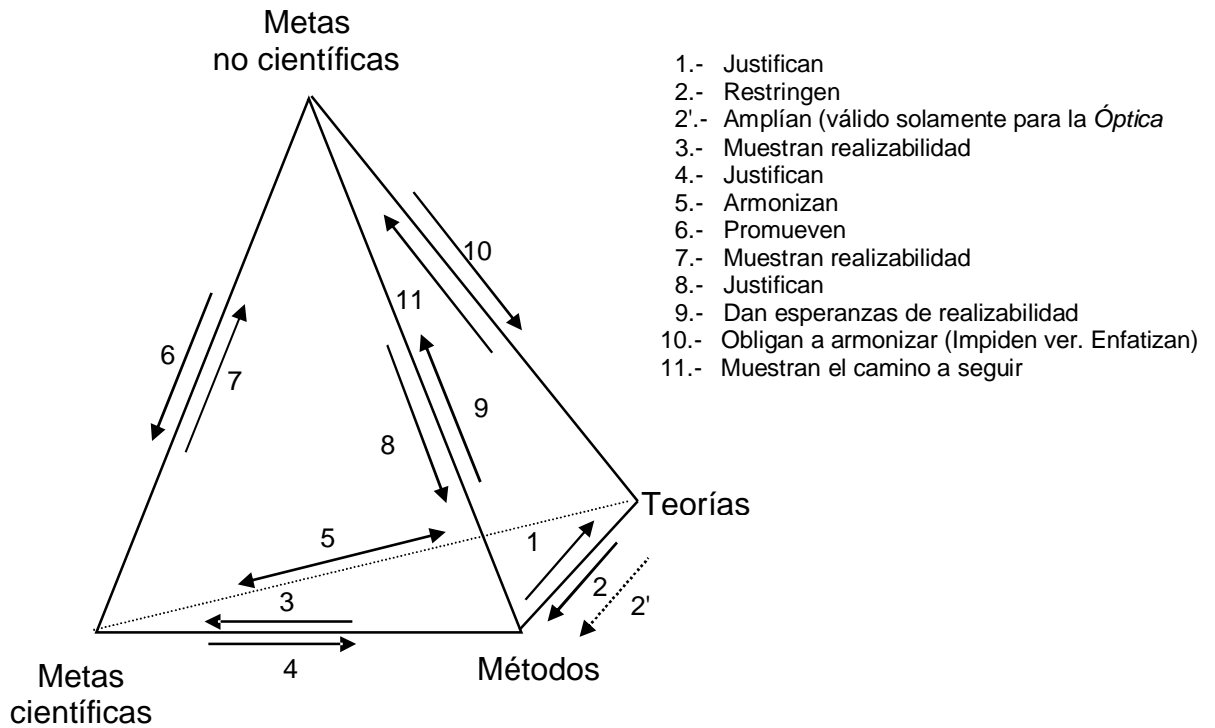


De la comparación entre la relación metas científicas-método con meta no científica-método, se observa que la diferencia radica en que para el primer caso la relación es mucho más fuerte que en el segundo, ya que de mostrar la realizabilidad de las metas se pasa a la esperanza de realizabilidad.

En general, podría visualizarse la relación entre las metas no científicas y los otros niveles (incluido el de las metas científicas) de la siguiente manera:

⁶⁵⁹ En Newton, I., (1982), p. 220. El subrayado es mío.

La conexión entre el trabajo teológico y científico de Newton es de tal magnitud que Manuel, en su análisis del papel de las profecías bíblicas en la obra newtoniana ha señalado que Dios se le ha revelado a Newton "... no sólo en el orden de la naturaleza, el cual él ha interpretado matemáticamente en sus estudios de filosofía natural, sino también en el mito y la profecía. Todo eran huellas de un Creador. Las historias testifican que Newton estaba persiguiendo el mismo propósito fundamental con métodos afines en cualquier esfera en la que laboraba". (Manuel, F., (1968), p. 377).



Aunque pareciera ser que las metas no científicas sólo crean problemas y se pudiera pretender ignorarlas, hay que considerar que, por un lado, esto es prácticamente imposible, pues forman parte del mundo en que vive el investigador y en este sentido son históricas y, por otro lado, tienen sus aspectos positivos. En el caso de Newton, su búsqueda de Dios es un extraordinario motor para la creación de su obra.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo he pretendido mostrar las relaciones entre las diversas partes que comprenden el amplísimo trabajo de Newton, que van desde el planteamiento de sus famosísimas leyes y su Teoría de la Gravitación, hasta sus más secretos escritos sobre Alquimia y Teología, pasando por los desarrollos en Óptica y Matemáticas y su concepción metodológica, dispersa a lo largo de su obra, así como en los muchos manuscritos y cartas que nos legó.

Para el análisis de este vastísimo material decidí utilizar el marco filosófico propuesto por Laudan relativo a las TI con estructura reticular, dado que me parece que entre todas las unidades de análisis que se han propuesto, la de Laudan es la que mejor posibilita dicho análisis al plantear, explícitamente, los niveles (axiológico, metodológico y teórico) que componen la retícula. Adicionalmente, a través de la red triádica de justificación, Laudan propone las formas de relación entre dichos niveles.

En este sentido, el trabajo cumple un doble cometido, por un lado, analiza los diversos aspectos del discurso newtoniano y, por otro, pone a prueba la capacidad explicativa de la propuesta laudaniana, para un caso concreto.

Para realizar esta tarea, el punto inicial fue el de construir cada uno de los niveles y en este punto uno se enfrenta al primer problema, que es el de especificar los elementos que los conforman, ya que varios de ellos encajan perfectamente en determinado nivel pero hay otros que comparten características de diversos niveles y es necesario tomar decisiones convencionales al respecto. Esto sucede, fundamentalmente, entre el nivel teórico y el metodológico.

Esta dificultad me parece insoslayable, independientemente de la unidad de análisis que se utilice, ya que los elementos que las componen, representan marcos generales que proveen de guías y que tienen que ser ajustados para cada caso particular.

En el análisis de los niveles que componen la TI newtoniana pude percatarme de que, más allá de ciertas tensiones, el modelo de Laudan funcionaba adecuadamente para los fines que abarcaban lo que hoy en día denominaríamos como objetivos científicos, pero que para el objetivo que hoy no catalogaríamos como tal (aunque para Newton esta diferencia le sería inaceptable) que se relaciona con su trabajo alquímico y teológico, la red triádica no era satisfactoria, razón por la cual en el Capítulo V propongo la modificación de la red triádica para convertirla en una red tetraédrica, que diferencia metas científicas de no científicas (en el sentido actual), en la que propongo el tipo de relaciones que se establecen entre la meta no científica y las metas científicas, la teoría y el método.

El presente trabajo plantea varias líneas de investigación a seguir las cuales, a grandes rasgos, serían:

1.- Completar el análisis de la TI newtoniana, con un estudio de la *Óptica* similar al realizado con los *Principia*. Este análisis posibilitaría el hacer más fino el planteamiento relativo a la red tetraédrica.

2.- Realizar un análisis sociológico y psicológico de Newton y su momento histórico, que se vincule con los planteamientos del presente trabajo.

3.- Analizar la evolución ulterior de la TI newtoniana, para detectar como se van dando las modificaciones paulatinas en cada nivel y la forma en que dichas modificaciones producen cambios en el resto de los niveles, lo que permitiría evaluar si las relaciones planteadas entre los niveles se preservan o se producen cambios en dichas relaciones.

4.- Estudiar el caso de Newton desde la perspectiva de otras unidades de análisis (paradigmas, programas de investigación científica) para evaluarlas y poder hacer un estudio comparativo entre ellas.

5.- Hacer un estudio similar al realizado en este trabajo, para otros ejemplos históricos, con la finalidad de evaluar la pertinencia del planteamiento relativo a la red tetraédrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander, H.G., (ed.), (1976), *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester University Press, Barnes & Noble, New York.
2. Alonso, M. and Finn, E.I., (1969), *Fundamental University Physics*, Vol. I, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, California, London, Ontario.
3. Aspden, H., (1989), "Anti-gravity electronics", *Electron & Wireless World*, Nº 95, pp. 29-31.
4. Bachelard, G., (1973), *El compromiso racionalista*, Siglo XXI Editores, México, D.F.
5. Bacon, F., (1980a), *Novum Organum*, Encyclopaedia Britannica, Great Books (30), Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila, pp. 103-195.
6. Bacon, F., (1980b), *New Atlantis*, Encyclopaedia Britannica, Great Books (30), Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila, pp. 197-214.
7. Baigrie, B.S., (1987), "Kepler's Laws of Planetary Motion Before and After Newton's Principia: And Essay on the Transformation of Scientific Problems", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 18, Nº 2, pp. 177-208.
8. Barbour, J.B., (1989), *Absolute or Relative Motion? A study from a Machian point of view of the discovery and the structure of dynamical theories*, Vol. I, Cambridge University Press, Cambridge.
9. Bechler, Z., (1992), "Newton's ontology of the force of inertia", en Herman, P.M. and Shapiro, A.E., (eds.), (1992), pp. 287-309.
10. Benítez, L., (1993), *El Mundo en René Descartes*, UNAM, México, D.F.
11. Born, M., (1962), *Einstein's Theory of Relativity*, Dover Publications, Inc., New York.

12. Brooke, J., (1989), "The God of Isaac Newton", en Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M., Wilson, R., (eds.), (1989), pp. 169-183.
13. Burt, E.A., (1954), *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Doubleday Anchor Books, New York.
14. Cajori, F., (1973), 'An Historical and Explanatory Appendix', en Newton, I., (1973), pp. 627-680.
15. Cassirer, E., (1993), *El Problema del Conocimiento en la Filosofía y la Ciencia Modernas*, Vol. II, Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
16. Chandrasekhar, S., (1995), *Newton's Principia for the Common Reader*, Clarendon Press, Oxford.
17. Christianson, G., (1986), *Newton*, Salvat Editores S.A., Barcelona.
18. Cohen, I.B., (1978), *Introduction to Isaac Newton's Principia*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
19. Cohen, I.B., (1981), "Newton's Discovery of Gravity", *Scientific American*, Vol. 244, pp. 123-133.
20. Cohen, I.B., (1983), *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*, Alianza Universidad, Madrid.
21. Cohen, I.B., (1985), *Revolution in Science*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., London.
22. Cohen, I.B., (1987), "Newton's Third Law and Universal Gravity", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 48, pp. 571-593.
23. Cohen, I.B., (1999), 'A Guide to Newton's Principia', en Newton, I., (1999), pp. 3-370, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.
24. Cohen, I.B., Hall, M.B. and Schofield, R., (eds.), (1978), *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
25. Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), *Newton. A Norton Critical Edition*, W.W. Norton & Company, New York, London.
26. Collins, H., (1981), "Stages in the Empirical Programme of Relativism", *Social Studies of Science*, Vol. 11, pp. 3-10.

27. Copernicus, N., (1980), *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, Encyclopaedia Britannica, Great Books (16), Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila, pp. 497-838.
28. De Gandt, F., (1990), "El estilo matemático de los *Principia* de Newton", *Mathesis*, Vol. VI, N° 2, pp. 163-189.
29. Descartes, R., (1986), *El Mundo o Tratado de la Luz*, UNAM, México, D.F.
30. Dobbs, B.J.T., (1982), "Newton's Alchemy and His Theory of Matter", en Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), pp. 315-324.
31. Duhem, P., (1996), *The origins of statics*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
32. Einstein, A., (1950), *Out of my later years*, Philosophical Library, Inc., New York.
33. Evans, J., (1996), "Fraud and Illusion in the Anti-Newtonian Rear Guard: The Coultaud-Mercier Affair and Bertier's Experiments", *Isis*, Vol 87, N° 1, pp. 74-107.
34. Farrington, B., (1971), *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial*, Editorial Ayuso, Madrid.
35. Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M. and Wilson, R., (eds.), (1989), *Let Newton be!*, Oxford University, New York.
36. Feher, M., (1986), "The method of analysis-synthesis and the structure of causal explanation in Newton", *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 1, N° 1, pp. 60-84.
37. Feingold, M., (1990), (ed.), *Before Newton. The life and times of Isaac Barrow*, Cambridge University Press, Cambridge.
38. Feyerabend, P.K., (1975), *Contra el Método*, Ariel, Barcelona.
39. Feyerabend, P.K., (1981), *Tratado Contra el Método*, Tecnos, Madrid.
40. Finochiaro, M.A., (1974), "Newton's Third Rule of Philosophizing: A Role for Logic in Historiography", *Isis*, Vol. 65, pp. 66-73.

41. Galilei, G., (1967), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic & Copernican*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.
42. Galilei, G., (1981a), *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid.
43. Galilei, G., (1981b), *El Ensayador*, Aguilar, Buenos Aires.
44. Garrison, J.W., (1987), "Newton and the Relation of Mathematics to Natural Philosophy", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 48, N° 4, pp. 609-627.
45. Geoghegan, D., (1957), "Some Indications of Newton's Attitude towards Alchemy", *Ambix*, Vol. 6, pp. 102-106.
46. Gjertsen, D., (1986), *The Newton Handbook*, Routledge and Kegan Paul, London.
47. Gjertsen, D., (1989), "Newton's success", en Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M. and Wilson, R., (eds.), (1989), pp. 23-41.
48. Goldstein, H., (1969), *Classical Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Massachusetts, California, London, Sidney, Manila.
49. Gouc, P., (1989), "The harmonic roots of Newtonian Science", en Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M. and Wilson, R., (eds.), (1989), pp. 101-125.
50. Guerlac, H., (1973), "Newton and the method of analysis", en Wiener, P.P. (ed.), (1973), Vol. 3, pp. 378-391.
51. Guerlac, H., (1977), *Essays and Papers in the History of Modern Science*, John Hopkins University Press, Baltimore & London.
52. Guerlac, H., and Jacob, M.C., (1969), "Bentley, Newton and Providence (The Boyle Lectures Once More)", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 30, pp. 307-318.
53. Guillaumin, G., (1997), *Metodología y causas verdaderas en la Filosofía Natural (1672-1859)*, Tesis Doctoral, UNAM, México, D.F.
54. Hacking, I., (1985), (comp.), *Revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, D.F.

55. Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*, Cambridge University Press, Cambridge.
56. Harman, P.M. and Shapiro, A.E., (eds.), (1992), *The investigation of difficult things. Essays on Newton and the history of the exact sciences*, Cambridge University Press, Cambridge.
57. Hellingman, C., (1992), "Newton's Third Law Revisited", *Physics Education*, Vol. 27, pp. 112-115.
58. Herivel, J., (1965), *The Background of Newton's Principia. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-84*, Clarendon Press, Oxford.
59. Hooke, R., (1989), *Micrografía o algunas descripciones fisiológicas de los cuerpos diminutos realizados mediante cristales de aumento con observaciones y disquisiciones sobre ellas*, Alfaguara, Madrid.
60. Ingard, U. y Kraushaar, W.L., (1966), *Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas*, Editorial Reverté, S.A., Barcelona, Buenos Aires, México.
61. Jacob, M.C., (1976), *The Newtonians and the English Revolution 1689-1720*, Gordon and Brech Science Publishers, New York.
62. Jacquette, D., (1990), "Aesthetics and Natural Law in Newton's Methodology", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 51, N° 6, pp. 659-666.
63. Jammer, M., (1961), *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
64. Jeans, J., (1960), *Historia de la física*, Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
65. Kepler, J., (1967), *The Dream*, The University of Wisconsin Press, Madison, Milwaukee, London.
66. Kepler, J., (1980), *The Harmonies of the World*, Encyclopaedia Britannica, Great Books (16), Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila, pp. 1005-1085.

67. Kepler, J., (1992), *El secreto del universo*, Alianza Editorial S.A., Madrid.
68. Keynes, J.M., (1956), "Newton, the man", en *Essays and Sketches in Biography*, (1956), Meridian Books, New York, pp. 280-290.
69. Kitcher, P., (1973), "Fluxions, Limits, and Infinite Littleness. A Study of Newton's Presentation of the Calculus", *Isis*, Vol. 64, N° 221, pp. 33-49.
70. Koestler, A., (1981), *Los Sonámbulos*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, D.F.
71. Koyré, A., (1952), "An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton", *Isis*, Vol. 43, pp. 312-337.
72. Koyré, A., (1965), *Newtonian studies*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
73. Koyré, A., (1981), *Estudios galileanos*, Siglo Veintiuno Editores, S.A., México, D.F.
74. Koyré, A., (1992), *Del Mundo Cerrado al Universo Infinito*, Siglo Veintiuno Editores, S.A., México, D.F.
75. Kuhn, T. S., (1951), "Newton's '31st Query' and the Degradation of Gold", *Isis*, Vol. 42, pp. 296-298.
76. Kuhn, T. S., (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago; v.e. Kuhn, T.S., (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
77. Kuhn, T.S., (1978), *La revolución copernicana*, Editorial Ariel, Barcelona, Caracas, México.
78. Lakatos, I., (1970), "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", en Lakatos, I. and Musgrave, A., (eds.), (1970), pp. 91-196; v.e. Lakatos, I., (1975), "La falsación y la metodología de los programas de investigación científica", en Lakatos, I. y Musgrave, A., (eds.), (1975), pp. 203-343.
79. Lakatos, I. and Musgrave, A., (eds.), (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, London; v.e. Lakatos, I. y

- Musgrave, A., (eds.), (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona.
80. Laudan, L., (1977), *Progress and Its Problems. Toward a Theory of Scientific Growth*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London; v.e. Laudan, L., (1986), *El progreso y sus problemas*, Ediciones Encuentro, Madrid.
 81. Laudan, L., (1981), *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, London.
 82. Laudan, L., (1984), *Science and Values. The Aims of Science and Their Roll in Scientific Debate*, University of California Press, Berkeley.
 83. Laudan, L., (1985), "Un Enfoque de Solución de Problemas al Progreso Científico", en Hacking, I., (comp.), (1985), pp. 273-293.
 84. Laudan, L., (1989), "If It Ain't Broke, Don't Fix It", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 40, pp. 369-375.
 85. Laudan, L., (1990a), "Aim-Less Epistemology?", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 21, N° 2, pp. 315-322.
 86. Laudan, L., (1990b), "Normative Naturalism", *Philosophy of Science*, Vol. 57, pp. 44-59.
 87. Laudan, L., (1996), *Beyond Positivism and Relativism. Theory, Method and Evidence*, Westview Press, Colorado.
 88. Laudan, L. and Laudan, R., (1996), "Dominance and the Disunity of Method: Solving the Problems of Innovation and Consensus", en Laudan, L., (1996), pp. 231-243.
 89. Leplin, J., (1990), "Renormalizing Epistemology", *Philosophy of Science*, Vol. 57, pp. 20-33.
 90. Locke, J., (1999), *Ensayo sobre el entendimiento humano*, Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
 91. Lohne, J.E., (1962), "Newton's 'Proof' of the Sine Law and his Mathematical Principles of Colors", *Archives of the History of Exact Sciences*, Vol. 1, pp. 389-405.

92. Mach, E., (1949), *Desarrollo Histórico-Crítico de la Mecánica*, Espasa-Calpe Argentina, S.A., Buenos Aires.
93. Mahoney, M.S., (1990), "Barrow's mathematics: between ancients and moderns" en Feingold, M., (1990), pp. 179-249.
94. Mandelbrote, S., (1993), "A duty of the greatest moment: Isaac Newton and the writing of biblical criticism", *The British Journal for the History of Science*, Vol. 26, pp. 281-302.
95. Manuel, F., (1968), *A Portrait of Isaac Newton*, Da Capo Press, Inc., New York.
96. Manuel, F., (1983), *The Changing of the Gods*, University Press of New England, Hanover and London.
97. Marquina, J.E., (1990), "Jeova Sanctus Unus. Teólogo y alquimista", *Mathesis*, Vol. VI, N° 2, pp. 219-253.
98. Mc Guire, J.E., (1970), "Atoms and the 'Analogy of Nature': Newton's Third Rule of Philosophizing", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 1, N° 1, pp. 3-58.
99. Merton, R.K., (1973), *The Sociology of Science. Theoretical and Empirical Investigations*, The University of Chicago Press, Chicago; v.e. Merton, R.K., (1985), *La sociología de la ciencia. Investigaciones teóricas y empíricas*, Alianza Universidad, Madrid.
100. Moulines, C.U., (1982), *Exploraciones metacientíficas. Estructura, desarrollo y contenido de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid.
101. Moulines, C.U., (1987), "¿Axiomatizó Newton la mecánica?", *Arbor*, N° 501, pp. 97-121.
102. Moulines, C.U., (ed.), (1993), *La ciencia: estructura y desarrollo*, Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, Vol. 4, Editorial Trotta, Madrid.
103. Nacar, E. y Colunga, A., (trad.), (1964), *Sagrada Biblia*, La Editorial Católica, S.A., Madrid.
104. Nagel, E., (1968), *La Estructura de la Ciencia*, Paidós, Buenos Aires.

105. Newton, I., (1947), *Óptica o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones y Colores de la Luz*, Emecé Editores, S.A., Buenos Aires.
106. Newton, I., (1965a), *De Motu Sphaericorum Corporum in fluidis*, en Herivel, J., (1965), pp. 294-303.
107. Newton, I., (1965b), *De Motu Corporum in Gyrum*, en Herivel, J., (1965), pp. 257-292.
108. Newton, I., (1965c), *De Motu Corporum in mediis regulariter cedentibus*, en Herivel, J., (1965), pp. 304-315.
109. Newton, I., (1966), *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, Librairie Scientifique et Technique, Albert Blanchard, Paris.
110. Newton, I., (1973), *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, University of California Press, Berkeley.
111. Newton, I., (1977), *Óptica o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones y Colores de la Luz*, Alfaguara, Madrid.
112. Newton, I., (1978a), *De Motu Sphaericorum Corporum in fluidis*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 243-292.
113. Newton, I., (1978b), *Conclusio*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 320-347.
114. Newton, I., (1978c), *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 89-156.
115. Newton, I., (1978d), *To Resolve Problems by Motion*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 15-64.
116. Newton, I., (1978e), *The Lawes of Motion*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 157-164.
117. Newton, I., (1978f), *On Motion in Ellipses*, en Hall, A.R. and Hall, M.B., (eds.), (1978), pp. 293-301.
118. Newton, I., (1980), *Optics*, Encyclopaedia Britannica, Great Books (34), Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila, pp. 373-544.

119. Newton, I., (1982), *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural y su Sistema del Mundo*, Editora Nacional, Madrid.
120. Newton, I., (1983), *Isaac Newton: El Sistema del Mundo*, Alianza Editorial, Madrid.
121. Newton, I., (1987), *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Alianza Editorial, S.A., Madrid.
122. Newton, I., (1991), *Observations Upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John*, Oregon Institute of Science and Medicine, Oregon.
123. Newton, I., (1995), *Hypothesis of Light*, en Cohen, I.B. and Westfall, R.S., (eds.), (1995), pp. 12-34.
124. Newton, I., (1996), *El Templo de Salomón*, CSIC y Editorial Debate, S.A., Madrid.
125. Newton, I., (1999), *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.
126. Newton, I., (2001), *Tratado de Métodos de Series y Fluxiones*, Servicios Editoriales de la Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
127. Panza, M., (2001), 'Introducción', en Newton, I., (2001), pp. 1-56.
128. Pérez Ransanz, A.R., (1993), "Modelos de cambio científico", en Moulines, C.U., (ed.), (1993), pp. 181-202.
129. Pérez Ransanz, A.R., (1999), *Kuhn y el cambio científico*, Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
130. Physical Science Study Committee, (1966), *Physics*, D.C. Heath and Company, Boston, Englewood, Chicago, San Francisco, Atlanta, Dallas, London, Toronto; v.e. Physical Science Study Committee, *Física*, (1962), Editorial Reverté, S.A., Barcelona, Buenos Aires, México.
131. Popper, K., (1979), *Objective knowledge*, Oxford University Press, Oxford.
132. Reimann, A.L., (1974), *Física*, Compañía Editorial Continental, S.A., México, D.F.
133. Resnick, R. and Halliday, D., (1977), *Physics, Part I*, John Wiley & Sons, New York, Santa Barbara, London, Sydney, Toronto; v.e. Resnick, R. y

- Halliday, D., (1983), *Física Combinada*, Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México.
134. Rosenberg, A., (1990), "Normative Naturalism and the Role of Philosophy", *Philosophy of Science*, 57, pp. 34-43.
135. Sabra, A.I., (1981), *Theories of Light. From Descartes to Newton*, Cambridge University Press, New York.
136. Sartori, L., (1996), *Understanding Relativity: a simplified approach to Einstein's theories*. University of California Press, Cambridge University Press, Cambridge.
137. Serway, R.A., (1992), *Física*, McGraw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V., México.
138. Shapere, D., (1984), *Reason and the Search for Knowledge. Investigations in the Philosophy of Science*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
139. Shapiro, A.E., (1984), "Experiment and mathematics in Newton's theory of color", *Physics Today*, Vol. 37, N° 9, pp. 34-42.
140. Siegel. H., (1990), "Laudan's Normative Naturalism", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 21, N° 2, pp. 295-313.
141. Silberer, H., (1971), *Hidden Symbolism of Alchemy and the Occult Arts*, Dover Publications, Inc., New York.
142. Sklar, L., (1977), *Space, time, and spacetime*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles.
143. Sklar, L., (1992), *Philosophy of Physics*, Westview Press, Inc., USA.
144. Solís, C., (1977), 'Introducción' y 'Notas', en Newton, I., (1977), pp. XV-LVI y 351-454.
145. Solís, C., (1989), 'Introducción' y 'Notas', en Hooke, R., (1989), pp. 11-76 y 617-712.
146. Stegmüller, W., (1983), *Estructura y dinámica de teorías*, Ariel, Barcelona.
147. Taylor, F.S., (1956), "An Alchemical Work of Sir Isaac Newton", *Ambix*, Vol. 5, pp. 59-84.
148. Voltaire, (1988), *Cartas filosóficas*, Alianza Editorial, Madrid.

149. Westfall, R.S., (1971), *Force in Newton's Physics. The Science of Dynamics in the Seventeenth Century*, American Elsevier Publishing Company Inc., London, New York.
150. Westfall, R.S., (1975), "Isaac Newton's Index Chemicus", *Ambix*, Vol. 22, pp. 174-185.
151. Westfall, R.S., (1996), *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, USA.
152. Westfall, R.S., (1999), *The Construction of Modern Science. Mechanisms and Mechanics*, Cambridge University Press, New York.
153. Wilson, C., (1970), "From Kepler's Laws, so-called to Universal Gravitation: Empirical Factors", *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 6, pp. 89-170.
154. Wilson, C., (1974), "Newton and some philosophers on Kepler's laws", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 35, pp. 231-258.
155. Wiener, P.P., (ed.), (1973), *Dictionary of the history of ideas, studies of pivotal ideas*, Charles Scribner's Son, New York.
156. Williams, R., (1987), *Arius. Heresy and Tradition*, Darton, Longman and Todd, London.
157. Worrall, J., (1988), "The Value of a Fixed Methodology", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 39, pp. 263-275.
158. Worrall, J., (1989), "Fix it and be Damned: A Reply to Laudan", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 40, pp. 376-388.