

Ciencia y episteme en Isaac Newton

GERARDO A. RODRÍGUEZ CASAS*

Science and episteme in Isaac Newton

Abstract. *With the purpose of avoiding criticism and at the same time protecting the secrets of his scientific research, Isaac Newton won over himself in his methodological notes, with the positive ideas dominating. Epistemological research has allowed us to discover his real method of research, where he created a mathematical system similar to the physical one, setting in motion an assimilative-adaptable method with the characteristics of a integral episteme.*

Introducción

Se ha llamado Era de la Razón al momento histórico que va de Galileo y Descartes a Newton, por la predominancia epistemológica que ejerce la razón en la constitución del conocimiento físico, pues ahí los problemas se resuelven en una forma axiomática de recurrencia matemática, sin que por ello se niegue la observación empírica de fenómenos y la función intuitivocompreensiva de la conciencia, pero estos procesos son reducidos y sometidos a la actividad y juicio de la razón.

En *De Revolutionibus*, Copérnico imita el estilo del *Almagesto* de Ptolomeo y su rigor matemático. Utiliza formas geométricas en lugar de formas sustanciales. Sostiene, con el cardenal de Cusa, que la esfera es la figura perfecta y que una vez puesta en movimiento y en situación adecuada no se detiene jamás, lo cual le conduce a afirmar que el universo es esférico y que los movimientos astrales recorridos a velocidad uniforme han de ser círculos perfectos. Copérnico (1993: 101) añade a la aritmética neopitagórica que la esfera y la gravedad son lo mismo: "La gravedad no es sino cierta apetencia natural dada a las partes por la providencia divina del Arquitecto, en el sentido de recobrase en su unidad e integridad reuniéndose bajo la forma de un globo".

Los *Discorsi* de Galileo inician ya el trabajo que dará lugar a la dinámica clásica codificada por

Newton. Aquella obra insinúa que la materia puede estar formada por átomos infinitamente pequeños. Al relacionar la caída de los graves con la ley de número, Galileo liga este acontecer a una mecánica de proporciones exactas; pero no pasa de una dinámica basada en graves a una dinámica de la gravitación, pues la atracción magnética de Gilbert le parece animista. El genio toscano reemplaza la física de la experiencia por una física de la hipótesis matemática y pone en movimiento los cuerpos ideales de Arquímedes. Sometido a ecuaciones, el movimiento se explica en sus leyes.

Suprimidas las esferas cristalinas de Aristóteles, se busca una nueva solución al problema que plantea; Gilbert propone que la Tierra está constituida en su centro por materia imantada; pero considera que aquella fuerza, dotada de vida, es una forma o virtud magnética. Kepler identifica el peso del grave con la fuerza atractiva o magnética y descubre las tres leyes de la física celeste. Descartes aplica el método matemático como válido para cualquier universo posible, reduce la realidad física a extensión y movimiento, formula la ley de la inercia y su física del choque le lleva a explicar la mecánica celeste por su "teoría de los vórtices", donde las infinitas partes extensas llenan todos los espacios y arrastran los astros en su constante movimiento de torbellino.

La argumentación newtoniana parte de experimentos dados y, a falta de éstos, se prolonga por analogía y "convergencia de analogías" que le permitan concluir; así, si de una alta montaña se lanzan piedras, éstas llegan más lejos mientras mayor es la fuerza; si se aumenta esta fuerza llegará un momento en que gire la piedra en torno a la Tierra sin caer; posteriormente la piedra se torna satélite, planeta, aumenta el volumen, la órbita, etcétera. Si los cometas, al atravesar las esferas aristotélicas las hacen estallar,



* Profesor definitivo de la Facultad de Humanidades, UAEM. Paseo Tollocan y Av. Universidad, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. C.P. 50110. Teléfono: (91) (72) 13 14 07.

con Tycho Brahe; ahora, al cruzar los vórtices cartesianos, los hacen desaparecer.

El razonamiento que esboza Newton durante el periodo 1665-1666, en torno a su teoría gravitacional es aún muy simple y, sin embargo, le permite formular el principio fundamental de aquella teoría como una atracción que se encuentra en proporción directa al producto de sus masas, así como en proporción inversa al cuadrado de sus distancias. Ahí se parte de la teoría de la caída de los graves, por la que se considera que la velocidad de caída es de 16 pies en el primer segundo, para suponer que tal fenómeno se debe a una fuerza constante que acrecienta la velocidad por atracción al centro de la Tierra, y si hipotéticamente se presenta la Luna como una gran piedra lejana, entonces el grado de desviación que impide que la Luna continúe, de acuerdo con la ley de la inercia, en su velocidad y movimiento rectilíneo, para girar en torno a la Tierra, se debe a una fuerza de atracción que Newton calcula a partir del dato conocido; a saber, aquella fuerza debe ser a 16 pies inversamente, como el cuadrado de la distancia de la Luna al centro de la Tierra es al cuadrado del radio de la Tierra.

La generalización de la teoría se extiende a todo cuerpo que, bajo la acción de una fuerza centrípeta, gira en torno a un punto, y expone que el radio trazado entre aquel cuerpo y este centro barrerá áreas iguales en tiempos iguales. Las leyes de Kepler son coherentes con su teoría gravitacional. El análisis racional abstrae de la compleja realidad y parte de lo simple para retornar a lo complejo. La ley universal expresa el principio simple que debe aplicarse adecuadamente a lo complejo. Newton (1983: 73) es consciente de ello, por lo que enuncia la ley de áreas, diciendo: "Si el sol reposase y los planetas restantes no actuasen entre sí, las órbitas serían elípticas, y las áreas, exactamente proporcionales a los tiempos".

Newton partió en sus cálculos del método de flujiones, pero, a medida que avanzaba en su investigación de la mecánica celeste, dicho método se transformaba para perfeccionar el cálculo infinitesimal y dar lugar al cálculo diferencial e integral, lo que permitía un avance más rápido y una mayor adecuación a la realidad de lo investigado. Nuestro autor, en la composición de los *Principia*, utilizó un método matemático-geométrico por ser éste el lenguaje usual y porque le permitía guardar los secretos de su investigación. Así le vemos con alguna frecuencia saltar de la consideración de los datos empíricos a los axiomas y al cálculo matemático-geométrico, con lo que su verdadero método de investigación queda oculto y al resguardo de aquéllos que deseaban arrebatarse sus triunfos; pues, ciertamente,

muchos de los elementos eran del conocimiento de los científicos; método de selección y síntesis es aquello que Newton no rebela.

En torno a las razones por las que Newton no manifiesta su método y presenta otro, dice Carlos Solís (Newton, 1977: XV), traductor de su *Óptica*: "Calla lo que piensa y deforma lo que dice hasta el punto de que en más de una ocasión sus afirmaciones metodológicas están ingenizadas para librarse de la crítica". Al conformar sus expresiones metodológicas con las ideas positivistas dominantes, intentaba congraciarse y evadir la crítica.

La polémica con los cartesianos llevó a Newton a querer ligar su filosofía natural a una analítica de corte radicalmente empírico; así, el no "fingir hipótesis" que pudieran provenir de prejuicios o ideas innatas le conduce a suprimir en la segunda edición más bien aquel término, que no lo que ello, en su contenido, implica. Advierte Antonio Escobedo en su introducción a los *Principia*: "La edición inicial abría el Libro III nada menos que con nueve hipótesis: De ellas la tercera desapareció por completo, la cuarta quedó como tal aunque desplazada, las dos primeras se convirtieron en 'Reglas para filosofar' y las demás en fenómenos: Aún así la última edición sigue conteniendo tres hipótesis explícitas". Newton redactó una Regla V insistiendo sobre lo mismo, si bien al final quedó sin imprimir en la tercera y la última edición hecha mientras vivía; he aquí la redacción de aquella regla: "Deben considerarse hipótesis cualesquiera cosas no derivadas de los objetos mismos, sea por los sentidos externos o por la sensación de pensamientos internos. Siento así que estoy pensando, lo cual no podría suceder si al mismo tiempo no sintiese que soy. Pero no siento (sentio) que idea alguna sea innata (...) y aquellas cosas que no se siguen de los fenómenos ni por demostración ni por argumento inductivo las considero hipótesis" (Newton, 1982: 113-114).

Una de las grandes dotes de Newton fue saber valorar la obra de sus predecesores, seleccionar los elementos adecuados y sintetizarlos en un sistema coherente y armonioso. Dice Hull que Newton fue el hombre que dio respuestas satisfactorias a la problemática planteada y que "las fundamentales ideas físicas de que dependen sus contestaciones no fueron creaciones suyas. Utilizando dos anagramas de Newton, de Morgan ha dicho que Newton prosiguió algo que no era nuevo. Lo mismo puede decirse con verdad de todos los genios, por grandes que hayan sido. Los avances importantes no han sido conseguidos en ningún campo mas que por aquéllos que han estudiado y apreciado a sus predecesores" (Hull, 1981: 199).

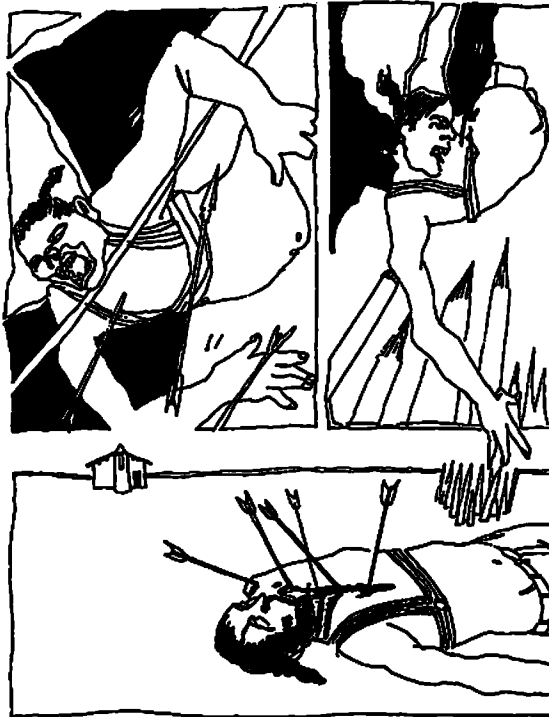
Newton es un continuador de la obra de Galileo, es el artífice destacado de la mecánica que permitió explicar las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas. Estos científicos aprendieron las leyes de la mecánica en el libro de la naturaleza a partir del movimiento de los astros. El descubrimiento constructivo del cálculo diferencial e integral permite a Newton no sólo fundar las matemáticas superiores, sino obtener un éxito contundente en la astronomía, sobre todo con la ley de la gravitación universal; al considerar esto junto con sus contribuciones a la fundación de la física y la óptica modernas, podemos reconocer a este autor como uno de los científicos más destacados de todos los tiempos.

Episteme newtoniana

Isaac Newton (1642-1727) destacó desde estudiante en el Trinity College de Cambridge por su conocimiento de las disciplinas matemáticas. Su maestro Isaac Barrow se dio cuenta de la gran capacidad de su discípulo, pues éste, hacia el final de sus estudios, había llegado ya al cálculo de fluxiones (cálculo infinitesimal) que utilizaba para solucionar problemas de geometría analítica. Por ello Barrow cede al joven Newton la cátedra de matemática en 1669. Los años de la peste, 1665-1666, en que nuestro joven se retiró a reflexionar en la pequeña casa de piedra de Woolsthorpe, es el periodo más fecundo de la vida de Newton; de hecho, ahí tuvo la idea de la gravitación universal, que, según la anécdota contada por una sobrina, ocurrió cuando meditaba bajo un árbol sobre la caída de una manzana.

Aunque Newton había intentado probar matemáticamente su teoría de la gravitación desde sus trabajos de Woolsthorpe, sus resultados no pudieron ser exactos, según los datos que se tenían sobre las dimensiones de la Tierra en esa época; pero en 1679, al enterarse de las mediciones llevadas a efecto por Jean Picard, rehizo sus cálculos, y en esta ocasión resultaron correctos. De todos modos no quiso publicarlos, por encontrarse aún bajo la impresión de las polémicas que le habían causado tanto disgusto, cuando había formulado su teoría de la naturaleza corpuscular de la luz. Es hasta 1685 que Newton, convencido por Halley, pone manos a la obra en la elaboración de sus *Philosophiae naturalis principia mathematica*, donde da a conocer al mundo su descubrimiento. La obra aparece en 1687.

Veamos primeramente la concepción del propio Newton sobre su método de investigación científica y a continuación hagamos un análisis que permita sacar a la luz los elementos que aquel científico deja



al margen; pero que, de hecho, necesariamente fueron utilizados en su investigación.

El objetivo que Newton se propone alcanzar en su filosofía natural es expresado así en el prólogo a la primera edición de sus *Principia mathematica*: "a partir de esas fuerzas demostrar los restantes fenómenos" (Newton, 1982: 200). El autor de los *Principia* pretende iniciar la ciencia partiendo de los fenómenos para descubrir las causas del movimiento, como principios mecánicos del sistema astronómico. Por tanto, el método incluye, según el prólogo, dos pasos: el primero consiste en descubrir las leyes mecánicas del movimiento astronómico por medio de la inducción y, el segundo, en explicar, mediante la deducción matemática y a la luz de las leyes, los fenómenos en estudio. Las matemáticas son un instrumento que permite inferir pero no garantizar la veracidad del conocimiento así adquirido, por lo que las conclusiones de este segundo paso deben verificarse experimentalmente. Newton da prioridad, por consiguiente, a esta verificación experimental.

La física clásica de Newton culmina el esfuerzo que se inicia desde los griegos por comprender la dinámica del universo e inicia una nueva actitud del pensamiento hacia la naturaleza: la independencia de la razón en aquella consideración, bajo un control continuo de la experiencia, en la búsqueda comprobada de las leyes del funcionamiento de la naturaleza.

En sus *Principia*, Newton presentó los principios fundamentales de las ciencias de la naturaleza en su versión moderna que, como el nombre de la obra lo dice, son de "tipo matemático". Este es el libro que Kant toma en cuenta como modelo de ciencia y cuya

estructura cognoscitiva se esfuerza por descifrar en su *Crítica de la razón pura*.

Newton mide, juntas, la cantidad de movimiento por la velocidad y la cantidad de materia; concibe la inercia como fuerza (*Vis inertiae*) y formula la acción correspondiente en la Definición III: "La fuerza insita de la materia es un poder de resistencia de todos los cuerpos, en cuya virtud perseveran cuanto está en ellos por mantenerse en su estado actual, ya sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta" (Newton, 1982: 224). En tanto que la primera ley del movimiento como axioma es formulada así: "Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar de estado por fuerzas impresas" (Newton, 1982: 237). Extendiendo esta ley, al movimiento de las pequeñas partículas lo define así: "La *Vis inertiae* es 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" (Newton, 1977: 343).

El autor de los *Principia* establece al inicio del Libro III cuatro "reglas para filosofar", que nosotros consideramos como normas epistemológico-metafísicas de su método de investigación. En la primera recomienda la simplicidad, pues sostiene que la naturaleza no se excede en causas superfluas, y la formula así: "No debemos admitir más causas de las cosas naturales que aquéllas que sean al mismo tiempo verdaderas y suficientes para explicar sus experiencias" (Newton, 1982: 657). A esto auna la uniformidad de la naturaleza; así la reflexión de la luz sobre la Tierra y los planetas, etcétera; por ello la segunda regla pide "asignar, en lo posible, a los mismos efectos las mismas causas" (*idem*). Esta formulación de la segunda regla es conocida como "principio científico de causalidad", que si se apoya en la experiencia empírica en la aplicación de una inducción radicalmente empírica, jamás logrará enunciar una ley estrictamente universal, porque es insalvable la diferencia entre el número de casos experimentados y la infinidad que pretende la universalidad; en contraparte el "Principio metafísico de causalidad" se fundamenta en la comprensión de la naturaleza estructural de los entes en estudio, independientemente de los casos experimentados. Por otra parte, si la causalidad se reduce a la causa eficiente en una clara supresión de toda causa final, y el movimiento se circunscribe al cambio local, encontramos las bases de una causalidad de acento mecanicista. Pero tal reducción se muestra a la postre ingenua porque inevitablemente una ley implica en su regularidad la necesidad lógica de la constancia

regular de la naturaleza. El principio científico de causalidad presupone el principio metafísico. La explicación conduce en algún grado a la comprensión. En expresión sintética cercana a Newton: la naturaleza es simple y uniforme. He aquí los fundamentos metafísico-epistemológicos que sustentan la metodología newtoniana. La causa primera, escribe en la *Óptica*, ciertamente no es mecánica. "Así la naturaleza será muy simple y concorde consigo misma, realizando todos los grandes movimientos de los cuerpos celestes con la atracción de la gravedad que media entre ellos y casi todos los movimientos pequeños de sus partículas con otros poderes atractivos y repulsivos que median entre ellas" (Newton, 1977: 342-343). Más adelante añade: "Una uniformidad tan maravillosa en el sistema planetario exige el reconocimiento de una voluntad e inteligencia (Causa primera)" (*ibid*, 347).

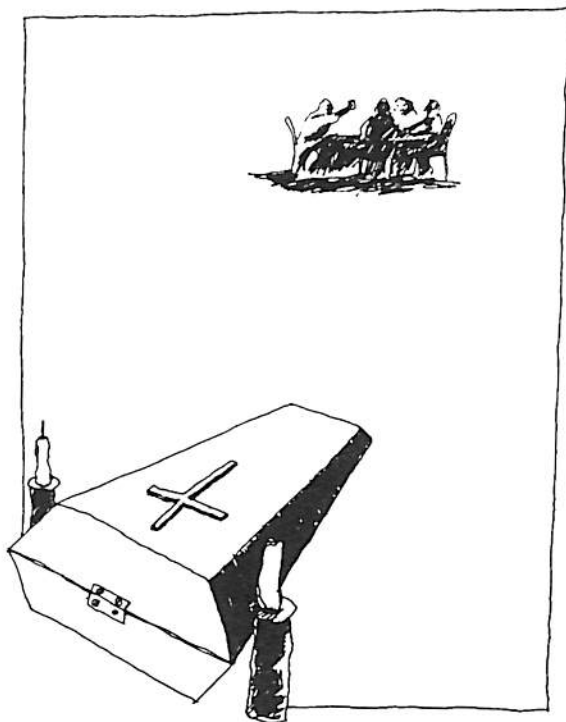
En la tercera regla, Newton extiende por analogía la uniformidad de la naturaleza a las cualidades de los cuerpos de acuerdo con lo que los experimentos han mostrado: "las cualidades de los cuerpos, porque no admiten aumento ni disminución y que se encuentran en todos los cuerpos pertenecientes al ámbito de nuestros experimentos, deben ser consideradas como cualidades universales de todos los cuerpos" (Newton, 1982: 657-658); así, son cualidades fundamentales de todos los cuerpos la extensión, la dureza, la impenetrabilidad y el movimiento o inercia, donde las cualidades del todo son una consecuencia de las partes. He aquí un "corpuscularismo" que sirve de fundamento ontológico a la teoría científica de Newton, pero en tal concepción influye su formación matemática para sostener que: "las partículas no divididas, al igual que las divididas, pueden ser divididas y efectivamente separadas hasta el infinito" (*ibid*, 659). Lo cual, es obvio, no consta por evidencia de los experimentos, sino sólo por la divisibilidad matemática, por lo que reconoce nuestro autor que a ella le sigue una incertidumbre fáctica; incertidumbre que no se extiende a la fuerza de gravitación, pues todos los cuerpos están dotados de gravitación recíproca y, por tanto, aquel principio es verdaderamente universal. Así, en una pretendida rigurosidad inductiva, nuestro autor enuncia la cuarta regla: "En la filosofía experimental las proposiciones inferidas por inducción general desde los fenómenos deben ser consideradas como estrictamente verdaderas, o como muy próximas a la verdad, a pesar de las hipótesis contrarias que puedan imaginarse, hasta que se verifiquen otros fenómenos que las conviertan en más exactas todavía, o bien, se transformen en excepcionales" (*idem*).

La cuarta regla pide que las proposiciones sean resultado de la inducción y consideradas como cercanas a la verdad; en tal contexto, las dos primeras reglas parecen no ser otra cosa sino postulados metodológicos, y sin embargo, al no ser probados por estricta inducción y rigurosa verificación empírica, pasan a formar parte de una base metafísica, no explícitamente reconocida. Newton pide ahí mismo que no se pase por alto la inducción basándose en hipótesis y reconoce al final del *Scholium generale* que no ha logrado descubrir la causa de las propiedades de la gravedad y se niega a formular hipótesis alguna: *hypotheses non fingo*, afirma. Por tanto, la deducción debe basarse en una inducción o, de lo contrario, sus hipótesis quedarán fuera de la filosofía experimental: “Todo lo que no ha sido deducido a partir de los fenómenos hay que considerarlo como hipótesis, y las hipótesis, ya sean metafísicas o físicas, ya se refieran a las cualidades ocultas o a las mecánicas, no tienen lugar en la filosofía experimental. En esta filosofía las proposiciones particulares se infieren a partir de los fenómenos y por medio de la inducción adquieren después un carácter general. Así se ha descubierto la impenetrabilidad, movilidad y fuerza impulsiva de los cuerpos, las leyes del movimiento y de la gravitación” (*ibid*, 817).

La rigurosidad del método newtoniano pretende descartar las hipótesis inútiles y no verificables. La intención, sin duda, es loable como objetivo a lograr en el ámbito de lo experimentable y, sin embargo, el sistema científico de Newton no se ve libre de hipótesis; así, su teoría atomístico-corpúscular con partículas dotadas de fuerza inercial, la teoría del éter para explicar la propagación de la luz, etcétera, son sin duda hipótesis verificables, pero aún no verificadas, hipótesis especulativas y no experimentales que, en todo caso, pueden quedar fuera de la filosofía experimental; pero, de hecho, la formulación de hipótesis se presenta como pasos provisionales e indispensables en la constitución de conocimiento científico.

El sistema del mundo es, para Newton, una gran máquina, cuyas leyes de funcionamiento pueden descubrirse de manera inductiva a través de la observación y el experimento. Veremos a continuación cuán equivocado se encontraba el propio Newton en cuanto a su misma episteme de investigación y descubrimiento. Por otra parte, el orden del universo con sus sistemas planetarios y sus cielos estrellados revela al autor de los *Principia* un “Señor Dios Principia”, cuya suprema inteligencia, poder y perfección le han permitido el dominio que nos muestra el mundo entero.

Al final del *Scholium generale* del Libro tercero, escribe Newton: “Hasta ahora hemos explicado los



fenómenos del cielo y de nuestro mar recurriendo a la fuerza de la gravedad, pero no hemos establecido aún cuál es la causa de la gravedad. Es cierto que ésta procede de una causa que penetra hasta el centro del Sol y de los planetas, sin que sufra la más mínima disminución de su fuerza; que obra (...) en relación con la cantidad de materia sólida que contienen aquéllas, y su acción se extiende hacia todas partes a inmensas distancias, decreciendo en razón inversa al cuadrado de las distancias”. A continuación se pregunta por esta causa y responde: “En verdad no he logrado aún deducir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad y no invento hipótesis” (*ibid*, 816-817).

La visión del mundo que presentó Newton no sólo permitió entender la mecánica celeste sino que, además de ser hermosa y totalizadora, unía la cultura griega y la moderna. La ley de la gravedad daba cuenta de una cantidad indefinida de fenómenos; en torno a lo cual, decía Einstein, Newton había llegado a explicar los movimientos de los planetas, de los satélites, de los cometas, hasta en sus detalles más menudos, así como el flujo y el reflujo de los mares, el movimiento de precesión de la Tierra: “todo un gran trabajo deductivo de gradeza única”. Notemos que a Einstein ya no le parece que la obra de Newton sea puramente observacional e inductiva.

El autor de la ley de la gravitación universal aceptó de Kepler la órbita elíptica del movimiento de los cuerpos celestes, porque —explicó— la fuerza de la gravedad los aleja continuamente de la línea recta, de acuerdo a la cual continuarían según la ley de la inercia. Para el movimiento Newton tomó en cuenta

tres leyes. A la ley de la inercia añadió una segunda ley según la cual: "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz que se aplica, y se da en la dirección de la línea recta según la cual ha sido aplicada la fuerza" (*ibid*, 237). La tercera ley, formulada por Newton, afirma que "a toda acción se opone siempre una reacción igual y opuesta" (*ibid*, 238). Así, si un caballo tira de una piedra atada con una reata, el caballo será también atraído hacia la piedra con la misma fuerza.

Para detener la referencia del movimiento hasta el infinito, Newton introdujo las nociones de tiempo y espacio absolutos: siendo aquél la duración que fluye uniformemente sin relación alguna externa, en tanto que el tiempo relativo es la medida sensible y externa de la duración a través del movimiento; por su parte, el espacio absoluto permanece siempre semejante a sí mismo e inmóvil y carece de toda relación con algo externo. Es notorio que estos dos conceptos están fuera de todo control empírico y carecen de significado operativo a tal grado que el sensista E. Mach les ha llamado "monstruosidades conceptuales"; por otra parte, llamar a aquellas nociones *Sensorium Dei* carece también de fundamentación teológica.

Las leyes del movimiento permitieron a Newton precisar el concepto básico de fuerza; así la inercia define negativamente la fuerza como la no alteración del movimiento o reposo. La segunda ley define cuantitativamente la fuerza en relación al cambio del momento. La tercera muestra el equilibrio de la fuerza en su acción y reacción. La fuerza es definida así en relación al movimiento como influencia de un cuerpo en otro y trata de prever la dimensión del efecto interrelativo e interactivo. Estas leyes no pueden comprobarse directa e inmediatamente por la experiencia: "Ya la primera ley presenta una dificultad insuperable al respecto, para comprobarla tendríamos que disponer de un cuerpo sobre el cual no estuviera ejerciéndose ninguna fuerza, es decir, un cuerpo que estuviera totalmente fuera de la esfera de influencia de todos los demás cuerpos del mundo. Se trata de una situación ideal imposible" (Hull, 1981: 204). Por ello es necesario recurrir a la experiencia indirecta, en la que se verifican no los principios sino las consecuencias lógicas, y aquí interviene la razón con sus inferencias inductivo-deductivas; luego, aquellos principios no son estrictamente empíricos.

El concepto básico de "masa" es definido por Newton en relación a la velocidad, como movimiento relativo al tiempo, y así le hace consistir en la medida de la resistencia que ese cuerpo ofrece al esfuerzo que se hace para cambiar su velocidad o dirección.

Por su capacidad matemática excepcional y sobresaliente en *mutatis mutandis*, se ha comparado a Newton con Arquímedes, y aquella admirable y sorprendente capacidad de Newton es considerada como la principal razón de que éste obtuviera éxito donde otros fracasaron, pues probó por razonamientos puramente matemáticos que si una fuerza que actúa sobre un planeta se dirige hacia el Sol, aquél planeta se comportará de acuerdo a lo indicado por la segunda ley de Kepler; para demostrar igualmente por pruebas matemáticas, que aquella fuerza variará inversamente al cuadrado de la distancia del planeta al Sol. Newton se basa en las afirmaciones empíricas de Kepler, pero su desarrollo metodológico y pruebas son fundamentalmente matemáticas. Probada así la ley de la gravedad, no puede ser sino una hipótesis que puede encontrar apoyo en datos sensibles, pero que, por su naturaleza de sistema deductivo matemático, deberá rechazarse en cuanto haya motivo suficiente para negar una sola de sus consecuencias lógicas. La ley de la gravedad obtenida por deducción matemática es, en realidad, una hipótesis apoyada en las afirmaciones experimentales anteriores, pero que aún debe verificarse experimentalmente, pues su validez de hipótesis teórica debe ser confirmada en la práctica de la experiencia.

El método establecido por Newton, por el que mediante el razonamiento matemático (y no sólo por la observación inductiva), podía deducir un gran número de fenómenos en armonía con la experiencia, le hizo abrigar la esperanza de encontrar la clave para la comprensión de todos los fenómenos; así pretendió extender la fuerza de la gravedad al campo de los fenómenos eléctricos, ópticos y fisiológicos, pero sin encontrar el apoyo experimental que le permitiera alcanzar alguna conclusión; incluso, la fuerza de la gravedad (como acción a distancia) se vio acusada por los cartesianos de fuerza misteriosa y oculta que sin causa adecuada se transmite a distancia.

Newton sostuvo hasta el final que la fuerza de gravedad "existe realmente" (Newton, 1982: 817), aunque no se conociese su causa y naturaleza, en torno a lo cual se niega a formular hipótesis alguna. Insiste en que aquella fuerza es necesaria y suficiente para explicar el conjunto de fenómenos al que hace referencia, pero su objetivo era descubrir esta causa de la gravedad, aunque no lo haya logrado. En este punto muestra el pretendido mecanicismo su inconsistencia. Aquí ha querido verse una posición positivista en Newton, pero su actitud y objetivo realista los desmienten.

En la Cuestión 31 de su *Óptica*, Newton da a conocer los principios generales de su método, a saber:

“El análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar conclusiones generales de ellos por inducción”. “La síntesis, por su parte, consiste en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios y en explicar con ellos los fenómenos, procediendo a partir de ellos y demostrando las explicaciones”. “Newton querría hacernos creer, dice Bernard Cohen, que él mismo habría procedido según este tinglado (...) No obstante un examen cuidadoso muestra que el uso newtoniano es exactamente el inverso del modo en que el análisis y la síntesis se habían empleado tradicionalmente en relación con las matemáticas y, por tanto, en los *Principia*” (Cohen, 1983: 31-33). La perspectiva newtoniana es la inversa de los racionalistas incluso los términos se invierten.

Según el método descrito por Newton, la inducción es fundamental y precede a la síntesis, pero en la realización, la inducción es propiamente nula o mínima. “Los temas filosóficos generales acerca de la inducción, el análisis y síntesis, cobraron importancia una vez que Newton hubo mostrado el sistema del mundo gobernado por la gravitación universal, si bien no desempeñaron función alguna significativa en el modo en que el estilo newtoniano se usa para la elaboración de dicho sistema o para el descubrimiento de dicha fuerza universal” (Cohen, 1983: 35).

Galileo y Newton utilizan las matemáticas como principal instrumento metodológico en sus investigaciones y, sin embargo, el uso que de él hacen es diferente y conduce, por tanto, a diversas consecuencias. Galileo deduce sus leyes matemáticas de determinadas definiciones y suposiciones con la finalidad de contrastarlas experimentalmente, formulando con ello el clásico método hipotético-deductivo. De este modo Galileo deriva sus leyes del movimiento uniforme y del uniformemente acelerado sin hacer referencia alguna a causas como una reacción y cautela, con las que pretende evitar verse envuelto nuevamente en la física aristotélica. Galileo sólo pretende que la fórmula matemática sea una descripción lo más exacta posible y general del fenómeno. Newton, por el contrario, busca en la exactitud de la fórmula matemática no sólo una descripción fenoménica sino una medición precisa de la acción y reacción de la causa en la producción del fenómeno. He aquí el cambio fundamental de la episteme newtoniana de la que parte su revolución científica. R. Boyle contribuye a ello, pues su ley constituye una formulación matemática de proporcionalidad entre dos variables, donde cada una de ellas representa una entidad física relacionada con la otra por medio de una medición; sin embargo, no hace referencia a la causa; la especificación mate-



mática de la causa es la distinción de la explicación newtoniana.

En efecto, Newton orientó la investigación a la búsqueda de las propiedades matemáticas de una fuerza capaz de producir la ley de áreas. Primeramente habría que descubrir las consecuencias matemáticas de una fuerza que causase la desviación de los planetas en su trayectoria rectilínea –según la ley de la inercia– para seguir una órbita elíptica. Newton relaciona en una admirable síntesis una pluralidad de fenómenos para explicar la causa de su movimiento por un solo factor: la fuerza de gravedad, como “atracción” interactiva de las partículas hacia el centro para integrar la pluralidad en la unidad. La intuición comprensiva de una fuerza así le lleva al análisis de sus propiedades. La existencia de esta fuerza es captada en la comprensión intuitiva de su necesidad a partir del acercamiento progresivo de los fenómenos en su interacción; así, si caída la manzana continuamos dando fondo a ésta a través de un prolongado túnel en la dirección al que se dirige la manzana, parece evidente que todos los cuerpos de la Tierra se dirigen, o más bien son atraídos hacia el centro –por una fuerza centrípeta– (y no centrífuga que lanzaría los cuerpos más pesado hacia afuera); por tanto, no son lugares naturales, como pensó Aristóteles, sino posiciones producto de interacción de fuerzas, por ello no se precipitan todos los astros para formar una sola masa. Pero, ¿cuáles pueden ser las propiedades que hagan posible en el movimiento de los astros aquel orden de interacción equilibrada? He aquí la pregunta que orienta la investigación newtoniana. La comprensión existen-

cial hace posible la investigación esencial; lo que lleva a nuestro autor a los siguientes resultados: la fuerza de un cuerpo se concentra en su núcleo geométrico y es, por tanto, aquella atracción gravitacional igual al conjunto de su masa, total en el centro y decreciente con el inverso del cuadrado de la distancia, lo que permite que dos fuerzas atractivas puedan equilibrarse. El análisis matemático debía construir un sistema tal que concordando con tales propiedades explicara los datos empíricos.

Durante el proceso del descubrimiento Newton otorgaba un papel importante a la intuición que hace manifiesto el factor fundamental como ley que explica el funcionamiento de las relaciones elementales; así interpretamos las siguientes frases de este autor que nos dice: "Yo no tenía ninguna habilidad especial, sólo la facultad de meditar con paciencia... (y pensar) constantemente en el problema hasta que los primeros destellos se iban convirtiendo poco a poco en un torrente de luz" (Strother, 1967: 362).

La construcción matemática de Newton es una contrapartida de situaciones físicas simplificadas e idealizadas, las cuales relaciona con las condiciones reales que, según su perspectiva, son las advertidas en observaciones y experimentos; pero, finalmente, su carácter primordial y fundamental es racional (analítico-reconstructiva) y matemático: "Los principios de la filosofía natural que Isaac Newton desplegó y elaboró en sus *Principia* son principios matemáticos. Su exploración de las propiedades de diversos movimientos bajo condiciones dadas de las fuerzas se basa en las matemáticas y no en experimentos e inducciones" (Cohen, 1983: 71-72).

La capacidad constructivo-matemática es la principal potencia intelectual de Newton; pues, por ella formaliza, desarrolla y verifica las intuiciones de su conciencia comprensiva y las creaciones con las que su imaginación pretende solucionar la problemática. El análisis matemático debe dar cumplida cuenta de los fenómenos, pues sus postulados coinciden con los principios del mundo real, las matemáticas son la sintaxis del lenguaje estructural de la naturaleza; he aquí una creencia que el autor de los *Principia* comparte con Galileo y Descartes. Las nociones básicas del sistema newtoniano son constructos matemáticos derivados de las situaciones físicas; ahí la variable independiente fundamental es el tiempo.

La física newtoniana debe su éxito a la gran habilidad de su autor para seleccionar los elementos en una gradual simplificación y a su admirable capacidad para reconstruirlos en una progresiva analogía con la realidad, en la que las estructuras mentales se adecuaban continuamente a los fenómenos en estu-

dio, para comprenderlos cada vez más en su totalidad integral. Lo cual hace que el sistema mismo de las matemáticas se vaya transformando en esta interacción subjetivo-objetiva y permita a Newton la creación del cálculo diferencial e integral. Asimilación-adequación es el proceso epistémico de investigación.

Newton aproxima el sistema matemático a la estructura real y, sin embargo, se da cuenta de que se trata de una asimilación y, por tanto, no les identifica sino que tiene presente su diferencia fundamental; pero los acerca con la intención de adecuar cada vez más el primero a la segunda, en una intencionalidad de clara perspectiva realista de develar las "verdaderas causas" de los fenómenos reales. Este construir el sistema matemático en analogía con el sistema físico lo hereda Newton de su maestro Isaac Barrow y en él se inspira para la construcción de su propio sistema.

Para deducir lógicamente las consecuencias del sistema físico, traduce éste a proposiciones matemáticas, partiendo de una simplificación selectiva de entidades y condiciones físicas transferibles al dominio matemático; así, por ejemplo, transfiere a la Luna como una masa puntual que se mueve en un espacio y tiempo matemáticos. El sistema matemático así iniciado deberá reproducir a continuación las proporciones del sistema físico; ahí se partirá de la máxima simplificación hacia una progresiva complejidad contrastada y aproximada a los datos que presenta la observación. Así, a la masa puntual se añaden nuevas componentes para que cumpla con las leyes keplerianas del movimiento planetario, con lo que se llega a la conclusión matemática de que la tercera ley aplicada al movimiento circular uniforme en combinación con la regla newtoniana para la fuerza centrípeta produce la ley del inverso del cuadrado, y de ahí se pasa a probar lo mismo con una órbita elíptica. De una masa puntual se pasa a dos, a tres... para integrar progresivamente el sistema planetario con sus respectivas interacciones. El sistema de investigación es obviamente analítico-deductivo y en modo alguno inductivo.

Newton ha asimilado la estructura física a un sistema matemático, evidentemente ésta ha sido ya adecuada; pero ahora, en una fase final, Libro III de los *Principia*, insiste en una progresiva adecuación del sistema matemático a la estructura física. donde los principios matemáticos hagan posible la elaboración de una filosofía natural. Esta reducción, como es obvio, tiene sus consecuencias en la visión newtoniana del mundo, lo cual, en definitiva, es aceptable dentro de sus límites, siempre y cuando no sufra extrapolaciones.

La fase final newtoniana se debe a que se dio cuenta de que el sistema que él había construido no se adecuaba total y exactamente a la estructura natural, en lo cual tenía razón, pues hoy día sabemos que ni siquiera la propia gravedad puede reducirse a una explicación mecánica.

Haber tomado en primer lugar el estudio de la Tierra y su satélite la Luna, permitió a Newton sintetizar la caída de los graves, el flujo y reflujo de los mares y el movimiento astronómico en la interacción de la fuerza de gravedad de aquellos dos cuerpos. En la adecuación de la fase final el constructo físico sigue los mismos pasos que la construcción del sistema matemático en un proceso de asimilación. A lo simple y estático le sigue lo complejo y dinámico. En este punto intervienen las *Regulae Philosophandi*, que ya hemos considerado anteriormente, así como las leyes del movimiento, que conducen finalmente a la constitución del sistema planetario-solar, regido por la "ley de la gravedad", según la cual dos cuerpos cualesquiera se atraen (gravitan unos hacia otros) con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros de gravedad.

Una vez explicada la mecánica celeste concluye nuestro científico: "Este elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas sólo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso. (...) Este rige todas las cosas, no como alma del mundo, sino como dueño de los universos. Y debido a esa dominación suele llamársele Señor Dios Pantocrator, o Amo Universal" (Newton, 1982: 814). "La máquina universal que sustituye a la antigua Creación es al mismo tiempo el primer y mejor

postulado en favor del Dueño como existencia". (*ibid*, 138) La Creación es, para Newton, una primera revelación que debe interpretarse y continuarse a la luz de la lectura de la *Biblia*. Eloy Rada García, traductor de las obras de Newton, dice al respecto: "Esta dependencia del mundo respecto a su Dios — como creador, ordenador, conservador, restaurador, etc.— no es algo marginal en la filosofía de Newton, sino el punto de convergencia de sus líneas de pensamiento" (*ibid*, 19).

El método práctico de investigación es integral, implica igualmente inducción y deducción, experiencia empírica, deducción racional, tanteo intuitivo, apreciación estética, etcétera. Los diversos factores se interrelacionan a tal grado que su interacción implica en cada uno de ellos la influencia activa de los otros. La reducción epistémica se da en la abstracción teórica, la investigación sigue en la práctica una epistemología integral. ◆

BIBLIOGRAFÍA

- Cohen, B. (1983). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Alianza Universidad. Madrid.
- Copérnico, N. (1993). *De revolutionibus*. Koyré. Hermann. París.
- Hull, L. (1981). *Historia y filosofía de la ciencia*. Ariel. Barcelona.
- Newton, I.
- ____ (1977). *Óptica*. Introducción de C. Solís. Alfaguara. Madrid.
- ____ (1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Introducción de A. Escotado. Editora Nacional. Madrid.
- ____ (1983). *El sistema del mundo*. Introducción de E. Rada García. Alianza Editorial. Madrid.
- Strother, R. (1967). "Explorador del universo", en *Grandes vidas, grandes obras*. Readers Digest. México.