

LOS FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DE LA FILOSOFÍA NATURAL DE ISAAC NEWTON*

1. Introducción

Suele considerarse a Newton, más aún que a Galileo, como el padre de la física moderna. Sus *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, por su aplicación sistemática de las matemáticas al estudio de los fenómenos naturales y por su apoyo riguroso en la experimentación y la observación, valen como paradigma del método científico tal como se le entiende actualmente.

Tan asombrosos fueron los resultados alcanzados por Newton para sus contemporáneos y sucesores que nadie se preocupó mucho por las concepciones metodológicas y filosóficas generales que habían sido su premisa histórica. Para las generaciones de científicos inmediatamente posteriores a Newton sólo cabía la admiración irrestricta ante su obra, no el análisis crítico de sus premisas. Y los físicos y metodólogos más recientes, que han asimilado las teorías de Newton como parte del bagaje científico moderno, han tendido a presuponer que también la metodología de Newton concuerda con los cánones actuales. El razonamiento es claro, aunque falaz: "Si los resultados concretos de Newton siguen siendo en principio válidos para nosotros, también lo han de ser sus presupuestos metodológicos."

La dificultad de lectura de los *Principia* para el científico moderno contribuyó también a que, con el tiempo, Newton y su obra se convirtieran en un mito intocable e inanalizable.

Sólo en décadas recientes, los esfuerzos de historiadores de la ciencia como Alexandre Koyré, I. Bernhard Cohen, Marie Boas, A. R. Hall, Gerd Buchdahl y otros nos han proporcionado una imagen mucho más realista de la labor científica de Newton y de sus presupuestos históricos. Se han desenterrado muchos de los aspectos de Newton que habían sido engullidos por el "memory hole" de la historiografía científica oficial, tales como la influencia que ejercieron en la concepción general newtoniana los escritos de los neoplatónicos británicos de la época o el hecho de que Newton dedicara tanto tiempo y energía a sus investigaciones de alquimia como al resto de su obra científica.¹

* Agradezco al *Deutsches Museum* de Munich y en especial a la Dra. B. Hoppe que pusieran a mi disposición cuanto material bibliográfico requerí para este trabajo.

¹ Todavía no se ha podido calibrar exactamente la significación que la alquimia tuvo en la labor científica de Newton, pero las investigaciones de estos últimos años parecen señalar que fue enorme y plenamente insertada en la tradición alquimista medieval y re-

No obstante, a pesar de lo mucho escrito sobre Newton en tiempos recientes, todavía falta una apreciación cabal de sus concepciones metodológicas generales que sea relevante para el filósofo de la ciencia. El presente artículo intenta ser una modesta contribución en este sentido.

No me voy a referir aquí a temas concretos de la filosofía newtoniana, como podrían ser su concepción del espacio absoluto o su noción de fuerza, sino más bien a temas más generales, de los que la filosofía de la ciencia se ha ocupado intensamente, como la inducción, el carácter de las hipótesis científicas y las explicaciones teleológicas. A través del estudio de lo que Newton opinaba sobre estos puntos, trataremos de comprender su idea general acerca del funcionamiento y el objetivo de la empresa científica; esa idea, como veremos, puede que no sea muy del gusto de los metodólogos actuales, pero también es lo suficientemente coherente como para que pueda hablarse de una metodología newtoniana característica. Tratemos de ver cuál es ésta.

2. *Las "Regulae philosophandi"*

El acceso natural a la metodología de Newton lo constituyen sin duda las reglas del pensamiento científico que él propone explícita y enfáticamente al comienzo del tercer libro de los *Principia*. Estas reglas se pueden considerar, y así se han considerado usualmente, como una profesión de fe *inductivista*. Por ello se ha visto en Newton a un paladín del método inductivo. Sin embargo, ya aquí debemos hacer dos cualificaciones: en primer lugar, que el inductivismo de Newton muestra importantes puntos de divergencia con respecto a lo que actualmente se entiende por método inductivo; en segundo lugar, que las concepciones metodológicas de Newton no quedan agotadas, ni mucho menos, con las "Regulae philosophandi" y que hay que tener en cuenta el contexto polémico en que ellas surgieron.

Pero antes de adentrarnos en las interpretaciones, veamos el texto de las reglas, con algunos de los comentarios y especificaciones más reveladoras que Newton les añade [*Newton's Principia*, pp. 398-400]:²

RULE I

We are to admit no more causes of natural things than such as are both true and sufficient to explain their appearances.

[Comentario] To this purpose the philosophers say that Nature does nothing in vain,

nacentista. El hecho de que la historiografía científica haya tardado casi tres siglos en redescubrir un Newton alquimista es digno de ser notado.

² En espera de la pronta publicación de la cuidadísima edición que I. Bernhard Cohen ha preparado de los *Principia*, la mejor de la que disponemos en la actualidad es la traducción inglesa de Florian Cajori, revisión, a su vez, de la que hizo Andrew Motte en 1729, bajo la supervisión del propio Newton.

and more is in vain when less will service; for Nature is pleased with simplicity, and affects not the pomp of superfluous causes.

RULE II

Therefore to the same natural effects we must, as far as possible, assign the same causes.

Estas dos primeras reglas podrían resumirse, en realidad, en una sola: la segunda regla es una especificación de la primera; el propio Newton lo indica al anteponer "therefore" al texto de la segunda regla. Regla I junto con Regla II constituyen lo que hoy denominaríamos un principio de economía metodológica, una forma de la famosa "navaja de Occam": no se deben admitir hipótesis superfluas para explicar los fenómenos naturales; los fundamentos de una disciplina científica deben ser lo más simples posible.

La cuestión que se plantea de inmediato, naturalmente, es: ¿cómo se llega a ese fundamento sólidamente simple? La respuesta de Newton se halla contenida (al menos en primera aproximación) en las reglas tercera y cuarta: el conocimiento de las causas suficientes se obtiene por inducción a partir de los fenómenos.

RULE III

The qualities of bodies, which admit neither intensification nor remission of degree, and which are found to belong to all bodies within the reach of our experiments, are to be esteemed the universal qualities of all bodies whatsoever.

[Comentario]... We are certainly not to relinquish the evidence of experiments for the sake of dreams and vain fictions of our own devising; nor are we to recede from the analogy of Nature, which is wont to be simple, and always consonant to itself.

Son también iluminadores (e inaceptables para muchos filósofos actuales) los ejemplos con que Newton aclara esta regla:

That all bodies are impenetrable, we gather not from reason, but from sensation. The bodies which we handle we find impenetrable, and thence conclude impenetrability to be an universal property of all bodies whatsoever. That all bodies are movable, and endowed with certain powers (which we call inertia) of persevering in their motion, or in their rest, we only infer from the like properties observed in the bodies which we have seen . . . Lastly, if it universally appears, by experiments and astronomical observations, that all bodies about the earth gravitate towards the earth, and that in proportion to the quantity of matter which they severally contain; that the moon likewise, according to the quantity of its matter, gravitates towards the earth; that, on the other hand, our sea gravitates towards the moon; and all the planets one towards another; and the comets in like manner towards the sun; we must, in consequence of this rule, universally allow that all bodies whatsoever are endowed with a principle of mutual gravitation.

RULE IV

In experimental philosophy we are to look upon propositions inferred by general induction from phenomena as accurately or very nearly true, notwithstanding any contrary hypotheses that may be imagined, till such time as other phenomena occur, by which they may either be made more accurate, or liable to exceptions.

[Comentario] This rule we must follow, that the argument of induction may not be evaded by hypotheses.

En la interpretación de estas reglas hay que investigar cuidadosamente lo que Newton concebía como “inducción” y “fenómeno”. Su concepto de inducción es sin duda más amplio de lo que los actuales filósofos de la ciencia entienden por “inducción”. La inducción newtoniana no atañe sólo al caso en que del hecho de que todos los objetos *observados* de un dominio empírico poseen una determinada propiedad se infiere que *todos* los objetos del dominio poseen esa propiedad; se refiere también (y principalmente) al caso distinto en que de las observaciones hechas en un dominio se hace una inferencia acerca de *otro* dominio, distinto del primero, pero *análogo* en algún sentido. Por ejemplo, de la observación de cuerpos en caída libre sobre la superficie de la Tierra se hacen inferencias sobre los movimientos planetarios. Dicho brevemente, la “inducción” newtoniana incluye el razonamiento analógico además de la inducción “normal”.

Las inferencias por analogía juegan un papel de primer orden tanto en los *Principia* como en la *Óptica* de Newton. Fueron consideraciones de analogía las que llevaron a Newton a postular la ley de gravitación universal. Mediante la inducción en sentido estricto sólo podía inferir, por ejemplo, que la Tierra ejerce una atracción sobre todos los cuerpos cercanos a su superficie, incluidos los no-observados, y, estirando mucho la inducción, que también ejerce una atracción sobre la Luna.³ Pero por mucho que se liberalicen las reglas de la inducción en sentido usual, Newton no podía inferir mediante ellas que todos los cuerpos del universo se atraen mutuamente. Para llegar a esta última proposición, Newton tuvo que recurrir al razonamiento por analogía: considerar que el predicado “cuerpo cercano a la superficie terrestre (incluyendo la Luna)” es lo suficientemente análogo al predicado “cuerpo girando alrededor del Sol”, por lo que infirió que el Sol ejerce una atracción sobre los planetas del mismo tipo que la que ejerce la Tierra sobre la Luna y las manzanas. Y de ahí pasó, nuevamente apoyado en la analogía, a la proposición general sobre la atracción universal. Todo esto entendía Newton por “inducción”, bastante más de lo que entienden los actuales filósofos de la ciencia.

³ Que esta última inferencia se considere inductivamente válida o no, depende de si el predicado “cuerpo cercano a la Tierra” se “estira” lo bastante como para que incluya la Luna.

Pero el concepto newtoniano de inducción presenta aún más complejidades que las reseñadas. El uso implícito de la inducción que hace Newton contiene la idea de que las inferencias inductivas ocurren por lo menos a dos niveles, que en nuestra terminología actual quizás se denominarían el nivel de las "regularidades empíricas" y el nivel de las "leyes teóricas". En un primer paso inductivo, un número finito de observaciones sobre un dominio dado nos permite establecer una regularidad empírica o "ley de bajo nivel" sobre ese dominio. Así, por ejemplo, de un número finito de observaciones astronómicas sobre las posiciones de los planetas se infieren las leyes de Kepler. Esto es lo que Newton denomina en el tercer libro de los *Principia* un fenómeno (no una "ley"). Inmediatamente después de las "Regulae Philosophandi", Newton establece seis "Phaenomena" en ese sentido, entre ellos las leyes originarias de Kepler. Partiendo de los teoremas del primer libro deducibles de las leyes generales del movimiento, pudo "explicar" a su vez esos "fenómenos" mediante el supuesto de una fuerza centrípeta inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Y de ahí infirió que todos los astros están sometidos al mismo tipo de fuerza, la gravitación. Es decir, las leyes de Kepler y las leyes análogas para los satélites le sirvieron de apoyo "inductivo" para el establecimiento de la ley de la gravitación universal.

La ley así establecida debe ser admitida, "notwithstanding any contrary hypotheses that may be imagined", como reza la Regla IV. Esta observación es naturalmente de carácter polémico. Es una defensa del método "inductivo" (como lo entendía Newton) frente al método "deductivo" (como lo entendían sus adversarios), lo mismo que el comentario a la Regla III:

We are certainly not to relinquish the evidence of experiments for the sake of dreams and vain fictions of our own devising.

Tales comentarios críticos y tal defensa del "inductivismo" iban dirigidos contra aquellos que especulaban sobre la Naturaleza sin hacer experimentos ni observaciones. Se trataba, para Newton, de unos adversarios muy concretos (y muy poderosos entonces): aristotélicos y cartesianos.

3. "Nonne hypotheses finxisti?"

El rechazo de la especulación sobre la Naturaleza sin comprobación empírica está evidentemente relacionado con la famosa sentencia de Newton contra las "hipótesis" en el *Scholium Generale* de los *Principia*: "Hypotheses non fingo."⁴

⁴ El párrafo en que se encuentra esta frase es el siguiente (en la versión inglesa de Motte-Cajori): "But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phenomena, and I frame no hypotheses; for whatever is not deduced from the phenomena is to be called an hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or

La lectura ingenua de esa frase, con negligencia de su contexto histórico, hizo surgir una imagen ahistórica de la metodología newtoniana, aceptada generalmente hasta hace poco. Era la imagen de un Newton que sólo se preocupaba por los hechos experimentales y que rechazaba estrictamente la formulación de hipótesis generales. Se vio en Newton al prototipo del inductivista riguroso (en el sentido del inductivismo del siglo XIX) o se le consideró incluso como el predecesor de la metodología positivista. De esta interpretación ahistórica de Newton encontramos un ejemplo interesante por su contundencia en la *Mecánica* de Ernst Mach:

Die wiederholte ausdrückliche Versicherung Newtons, dass es ihm nicht um Spekulation über die verborgenen Ursachen der Erscheinungen, sondern um Untersuchung und Konstatierung des *Tatsächlichen* zu tun sei, die Gedankenrichtung, welche sich deutlich und kurz in seinen Worten "hypotheses non fingo" ausspricht, charakterisiert ihn als einen *Philosophen* von *eminenter* Bedeutung. [Mach, *Mechanik*..., p. 187] (subrayado de Mach).⁵

Y por "filósofo de rango eminente" ("Philosoph eminenter Bedeutung") está claro que entendía Mach alguien que concordaba con su propia concepción positivista.

Como suele ocurrir con tales interpretaciones simplistas hechas por personas inteligentes, la interpretación machiana no es *completamente* falsa, pero sí producto de una grave deformación histórica. El rechazo que hace Newton en el *Scholium Generale* de toda especulación o "hipótesis" no debe sacarse del contexto histórico (y, en particular, polémico) en que se manifestó. Pero es asimismo una deformación histórica el intento de reinterpretar (o "redimir") a Newton, como han hecho incluso autores recientes, presuponiendo que él entendía el término "hipótesis" en el mismo sentido en que lo entendemos hoy. No tiene mucho interés empezar a discutir si Newton realmente inventaba o no hipótesis en el sentido actual (¡claro que lo hacía!). Lo que es interesante para la historia de la ciencia es averiguar por qué y con qué intención Newton, en un momento dado, en un contexto dado, hizo su tajante declaración: "Hypotheses non fingo", y qué entendía entonces por "hypotheses".

Lo primero que hay que observar es que el propio Newton en sus escritos no publicados anteriores a los *Principia*, como por ejemplo en el importante

physical, whether of occult qualities or mechanical, have no place in experimental philosophy". [Newton's *Principia*, p. 547.]

⁵ [Trad.] "La repetida declaración explícita de Newton de que no le interesaban las especulaciones sobre las causas ocultas de los fenómenos, sino la investigación y constatación de los hechos, la línea de pensamiento que se expresa clara y concisamente en sus palabras "hypotheses non fingo", le caracteriza como a un *filósofo* de rango *eminente*" (subrayado de Mach).

ensayo *De Motu Corporum*, 1684,⁶ no tuvo inconveniente alguno en usar el término “hipótesis” como sinónimo de “ley general”.

Asimismo, y para vergüenza de intérpretes apresurados, en todas las versiones publicadas de los *Principia* aparecen varias “hypotheses” (denominadas así explícitamente), coexistiendo pacíficamente con el ataque del *Scholium Generale* a las hipótesis en general. En el texto de la segunda y tercera edición de los *Principia* (las ediciones generalmente conocidas) pueden leerse las siguientes “Hypotheses”:

En el *Segundo Libro, Sección IX* se formula una hipótesis sobre la expresión matemática de “la resistencia de los fluidos debida a la carencia de lubricidad” [*Newton's Principia*, p. 385].

— En el *Tercer Libro*, en la sección sobre Teoría de la Luna, leemos una “hipótesis” sobre la “precesión de los equinoccios” [*Newton's Principia*, p. 489].

— Finalmente, al comienzo del *Tercer Libro*, encontramos una “hipótesis” que alguien como Ernst Mach debiera haber calificado de “insensata especulación”: “El centro del sistema universal es inmóvil” [*Newton's Principia*, p. 419].

Pero más aún. Alexandre Koyré e I. Bernhard Cohen fueron los primeros en hacer notar que en la primera edición de los *Principia* (1687) las dos primeras *Regulae Philosophandi* y los *Phaenomena* subsiguientes aparecen formulados como “Hypotheses” (!). Claro que en esta primera edición no se encuentran todavía ni las polemizantes reglas tercera y cuarta, ni el *Scholium Generale* con el anatema a las hipótesis.⁷

Hasta la época de la primera edición de los *Principia*, e incluso más tarde, Newton no tuvo ningún prejuicio en contra de las hipótesis. ¿Cuál fue la piedra de escándalo que motivó su posterior condena? No podemos determinarlo con entera seguridad, pero aparece como muy probable que su anatema fuera una reacción airada a las críticas severas de muchos científicos de la época (en particular, cartesianos) a su teoría de la gravitación. Para muchos de los primeros lectores de los *Principia* (científicos de primera fila), la idea misma de la gravitación universal aparecía como una ficción inaceptable.

Así, por ejemplo, Cohen ha constatado⁸ que en una reseña francesa de los *Principia* publicada en el *Journal des Sçavans* de 1688 (la revista cientí-

⁶ Cf. Hall & Hall, *Unpublished Scientific Papers...*, manuscritos B y C, p. 243. *De Motu Corporum* puede considerarse como el “ensayo general” de los *Principia*.

⁷ La primera versión del *Scholium Generale* es de 1713 —veintiséis años posterior a la primera publicación de los *Principia*.

⁸ Cf. Cohen, *Introduction...*, p. 156.

fica más importante de la época), se califica el supuesto de la gravitación universal de "hipótesis arbitraria". Es seguro que Newton leyó esa reseña, pues tenía el *Journal des Sçavans* en su biblioteca, y es probable que se enojara bastante al leer los términos en que los franceses liquidaban su teoría de la gravitación, que tanto esfuerzo le había costado.

Tampoco podía alegrarse mucho por las reacciones críticas de dos de los máximos científicos contemporáneos, Leibniz y Huygens. Ambos consideraban la gravitación universal como una entidad imaginaria. En 1690 le escribía Huygens a Leibniz en una carta sobre temas de física:

Pour ce qui est de la Cause du Reflus que donne Mr. Newton, je ne m'en contente nullement, ni de toutes ses autres Theories qu'il bastit sur son principe d'attraction, qui me paroît absurde... Et je me suis souvent etonné, comment il s'est pu donner la peine de faire tant de recherches de calculs difficiles, qui n'ont pour fondement que ce mesme principe. [Gerhard, *Briefwechsel*..., p. 156.]

Y Leibniz escribía en 1715 en una carta al Abbé Conti, refiriéndose a los fundamentos de la teoría newtoniana:

Sa philosophie me paroît un peu étrange, et je ne crois pas qu'elle puisse s'établir. Si tout corps est grave, il faut necessairement que la gravité soit une qualité occulte scholastique, ou l'effect d'un miracle. [Newton, *Comercium epistolicum, Opera*..., t. IV, p. 596.]

Ni Leibniz ni Huygens lograron nunca quedar convencidos de la validez de la concepción newtoniana. Más aún, les repugnaba la idea misma de la atracción a distancia (sin intermediario físico), porque sospechaban tras ella un retorno a las "fuerzas ocultas" o "espirituales", y por tanto a una visión animista del Universo tan característica de la época renacentista y que tanto esfuerzo les había costado vencer a los "mecánicos" del Barroco. Es históricamente comprensible que a muchos de ellos les apareciera la "filosofía natural" de Newton como la de un reaccionario oscurantista.

Ahora bien, es importante notar que los adversarios más eminentes de Newton no rechazaban la *ley de la gravitación* como expresión matemática de la relación entre los fenómenos. Lo que les molestaba era la introducción del *concepto de gravitación* como principio de explicación, pues para ellos era este concepto mismo lo que precisaba una explicación.

La réplica de Newton a esas críticas podría quizás resumirse así: "No podéis negar la ley de la gravitación, puesto que se apoya en observaciones empíricas y cálculos exactos. Pero si lo que pedís es una *explicación* de la gravitación, entonces estáis exigiendo demasiado de mí. Pues desconozco la causa de la gravitación, y a este respecto no pienso inventarme hipótesis."

Sobre la causa de la gravitación, Newton no quería pronunciarse —por lo menos no en los *Principia*. Su posición a este respecto queda aún más clara

en su tercera carta a Bentley, quien le había preguntado cómo concebía la gravitación:

Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but whether this agent be material or immaterial, I have left to the consideration of my readers. [Newton, *Comercium epistolicum, Opera...*, t. IV, p. 596.]⁹

Resumiendo, el rechazo que hace Newton enfáticamente en el *Scholium Generale* está indisolublemente referido a la discusión sobre el concepto de gravitación y a la exigencia de sus críticos de que debía explicar la gravitación. En este contexto, y sólo en éste, debe interpretarse su famoso *dictum* contra las hipótesis.

Sin embargo, tampoco hay que caer en el extremo contrario de interpretación y suponer que la enfática declaración "Hypotheses non fingo" no es más que un "lapsus linguae" de un Newton agriado por la discusión. Es cierto que la frase en cuestión y el párrafo que la acompaña surgieron primordialmente con ocasión de la fuerte polémica que Newton sostenía en torno a la gravitación; pero no es menos cierto que Newton, en su época madura, fue cada vez más parco en el uso del término "hipótesis", y no sólo por razones polémicas. Si bien aparecen formuladas algunas "hypotheses" en los *Principia*, téngase en cuenta que no son más que tres en una voluminosa obra de carácter innovador. Y también debería observarse que, en su obra publicada, Newton nunca calificó las leyes fundamentales de la dinámica (los "tres principios de Newton") de "hipótesis". En su época madura, Newton siempre distinguió netamente las leyes generales que consideraba establecidas de lo que él llamaba "hipótesis". Y si bien es cierto que postuló algunas "hypotheses" (en su sentido), las manejó también con suma precaución.

4. Hipótesis como preguntas

Buena parte de la discusión reciente sobre "Hypotheses non fingo" viene viciada de origen por la falacia implícita de considerar que Newton usaba un concepto de "hipótesis" idéntico o muy semejante al que se usa hoy día, por ejemplo cuando se habla del "modelo hipotético-deductivo" de las teorías científicas. Si se aplica el concepto actual de "hipótesis", es casi trivial concluir que Newton postuló un gran número de hipótesis, tanto en los *Principia* como en otros escritos.

⁹ Nótese aquí que Newton deja abierta la puerta a una interpretación espiritualista u "ocultista" de la gravitación. Si fuera sólo por esta carta, podríamos pensar que se trata de una cortesía al teólogo Bentley. Pero más adelante expondremos más datos que nos inducen a creer que Newton había pensado seriamente en una explicación espiritualista de la gravitación y de otras leyes fundamentales. Por eso, la sospecha de Leibniz, Huygens y otros "ilustrados" no era enteramente infundada.

Sin embargo, una lectura atenta de Newton revela que, por lo menos en su época madura, él hacía una neta distinción, que los metodólogos actuales no suelen hacer, entre dos tipos de enunciados generales sobre la Naturaleza: “leges” e “hypotheses”. Las primeras son proposiciones confirmadas empíricamente (“inferidas por inducción general a partir de los fenómenos”), prácticamente indubitables, como las “leges motus” o la ley de gravitación universal; las segundas son mucho más problemáticas pues carecen de confirmación, y si acaso se formulan alguna vez deben manejarse con suma precaución. Las “hypotheses” deben tomarse a lo sumo como estímulo inicial para el investigador, no como base firme ni como resultado inatacable de la investigación sistemática.

En su obra tardía, Newton incluso cambió de término para las “hypotheses” (seguramente para evitar conflictos) y las denominó *queries*: la única justificación metodológica de las “hypotheses” era para Newton el ser *preguntas* hechas por el investigador a la Naturaleza; pueden figurar en el estadio inicial de la investigación, no entre los resultados finales. Muestra clara de esta concepción es la *Opticks*, redactada bastante más tarde que los *Principia*. La *Opticks* está dividida claramente en dos partes: la primera, sistemática, expone los resultados obtenidos por el propio Newton y por sus antecesores (las leyes de reflexión y de refracción, por ejemplo), que Newton consideraba seguros; en esta parte no aparece ninguna “hypothesis”. La segunda parte, en cambio, consta de más de treinta “queries”, algunas muy especulativas, que expresan las preguntas que se hacía Newton acerca de una serie de fenómenos y experimentos poco o mal explicados. Las “queries” son sólo otro nombre para las hipótesis.

Como instrumento heurístico, Newton admitía las hipótesis, siempre y cuando se concibieran como *preguntas* —no como principios ni como resultados. La expresión más clara de esta idea no se debe al propio Newton, sino a su discípulo y amigo Cotes, quien por supuesto sabía muy bien lo que opinaba su maestro, generalmente parco en explicaciones. En el *Prólogo* a la segunda edición de los *Principia*, Cotes expone claramente el punto de vista newtoniano acerca de las hipótesis. Después de haber atacado a aristotélicos y cartesianos por sus explicaciones meramente verbales de los fenómenos, expone el “buen método”, el de los “filósofos experimentales”, que es naturalmente el método de Newton:

These [= los newtonianos] indeed derive the causes of all things from the most simple principles possible; but then they assume nothing as a principle, that is not proved by phenomena. They frame no hypotheses, nor receive them into philosophy otherwise than as questions whose truth may be disputed. [*Newton's Principia*, p. XX.]

Nótese que el equilibrado Cotes es aquí mucho menos radical en su expresión que el Newton del *Scholium Generale*: no hay que postular hipó-

tesis, a menos que se las tome como preguntas sobre cuya validez puede discutirse. Esta concepción iba a ser aplicada en la práctica en la *Opticks*, donde las hipótesis, para evitar confusiones, tomarían incluso la forma gramatical de preguntas. La concepción madura de Newton sobre las hipótesis es clara y coherente; sólo podemos asombrarnos de que muchos de los comentaristas actuales hayan pasado por alto esa conexión tan directa y reveladora entre el Prólogo de Cotes y las "Queries" de la *Óptica*.

5. La insuficiencia de las explicaciones mecánicas

La imagen popular de un Newton contrario a las hipótesis suele ir acompañada de la imagen, aparentemente más plausible, de un Newton mecanicista, que concebía el Universo como un enorme mecanismo de relojería y que buscaba en todos los dominios la aplicación exclusiva de las leyes de la mecánica. Esta imagen puede que corresponda a muchos de los predecesores, contemporáneos y sucesores de Newton, pero decididamente no al propio Newton. Si bien en sus *Principia* había proporcionado la mejor teoría empírica conocida hasta la fecha partiendo de principios puramente mecánicos, Newton nunca creyó —al revés de muchos de sus contemporáneos, como Huygens, Leibniz y los cartesianos— que una explicación completa y general de la Naturaleza pudiera conseguirse a partir de un fundamento puramente mecánico. Lo que luego se convino en llamar "la concepción newtoniana del Universo", que tanto entusiasmo a los intelectuales de los siglos XVIII y XIX (la fe en que "todo puede reducirse a la mecánica"), no habría sido suscrita por su supuesto fundador. Newton no sólo no fue partidario del mecanicismo, sino que fue su decidido adversario.

Para comprender mejor la posición de Newton a este respecto, el intérprete moderno debe tener en cuenta que, en la época de Newton, "explicación mecánica" prácticamente equivalía a "explicación natural"; o, dicho de otro modo, dado que la única ciencia natural realmente constituida como disciplina explicativa era la mecánica,¹⁰ resulta históricamente comprensible que no se concibiera otro modo "natural" de explicar los fenómenos que el "modo mecánico". Por ello, al rechazar Newton el mecanicismo, tenía que rechazar también, como veremos, el "naturalismo", entendiendo por tal la creencia, usual hoy día entre los científicos, de que todo fenómeno o proceso observable en la Naturaleza es ("en principio", como se dice) explicable a partir de alguna teoría perteneciente a las ciencias naturales reconocidas.

¹⁰ No puede considerarse que la astronomía pre-newtoniana (es decir, la astronomía antes de ser absorbida por la mecánica) ofreciera algún *corpus* teórico de explicación; se trataba "meramente" de descripciones. Ni siquiera en el estadio más avanzado de la astronomía preclásica, las leyes de Kepler, los científicos de la época sintieron que se había llegado a una "explicación del Universo". Por eso Newton llamó a las leyes de Kepler "*Phaenomena*", no "*Principia*", ni "*Leges*".

La actitud de Newton frente al mecanicismo estuvo, sin duda, influida por ciertas corrientes ideológicas de la época, en particular por la *escuela neoplatónica* de Cambridge, que tuvo su apogeo durante la segunda mitad del siglo xvii. La Escuela de Cambridge reaccionó muy polémicamente a la difusión del mecanicismo, sobre todo en la forma propagada por Hobbes, y se propuso como objetivo fundamental hallar argumentos en favor de una concepción espiritualista del Universo. P. M. Rattansi ha constatado en su trabajo sobre las corrientes neoplatónicas de los siglos xvi y xvii¹¹ que Newton, durante la redacción de su primer trabajo sobre la gravitación, leía simultánea y ávidamente los escritos de Henry More (uno de los principales representantes de la Escuela de Cambridge). Rattansi cree probable que esas ideas neoplatónicas obraran en Newton como antídoto al mecanicismo de Hobbes y Descartes.

Para mostrar la insostenibilidad del naturalismo mecanicista, Newton, siguiendo a los neoplatónicos de Cambridge, trató de ofrecer argumentos de carácter más bien empírico que metafísico o ideológico. Entre sus argumentos puramente empíricos estaba, por ejemplo, el de que la estructura y ordenación especiales del sistema planetario no se podían explicar a partir de supuestos exclusivamente mecánicos. Newton había comprobado que todos los planetas conocidos en su tiempo se movían aproximadamente sobre el mismo plano, todos en el mismo sentido, y que esto también era el caso para los diez satélites por él conocidos. No le parecía posible imaginar una causa mecánica para una regularidad tan asombrosa. Así lo expresa en el *Scholium Generale*:

it is not to be conceived that mere mechanical causes could give birth to so many regular motions, since the comets range over all parts of the heavens in very eccentric orbits. . . . This most beautiful system of the sun, planets, and comets, could only proceed from the counsel and dominion of an intelligent and powerful Being [*Newton's Principia*, p. 544.]

Otro argumento empírico en favor de una explicación espiritualista del Universo que da Newton a renglón seguido sólo tiene sentido partiendo de su teoría de la gravitación: si todos los cuerpos se atraen mutuamente, ¿cómo es posible que todos los astros no choquen reduciéndose a una única masa cósmica?

and lest the systems of the fixed stars should, by their gravity, fall on each other, he [a saber, el Agente Inteligente] hath placed those systems at immense distances from one another. [*Newton's Principia*, p. 544.]

Pero tampoco el problema del origen del Universo podía ser resuelto por

¹¹ Cf. Rattansi, *Some Evaluations of Reason in Sixteenth and Seventeenth-Century Natural Philosophy*, pp. 154 ss.

una filosofía mecanicista. En la *Query 31* de su *Opticks* sostiene Newton que es “antifilosófico”, debido a una mala metafísica,

to pretend that it [es decir, el Universo] might arise out of Chaos by the mere laws of nature ... Such a wonderful uniformity in the planetary system must be allowed the effect of choice. And so must the uniformity in the bodies of animals. [*Opera...*, t. IV, pp. 261-262.]

Y en su primera carta a Bentley, quien le había pedido aclaraciones filosóficas sobre su sistema, confirma:

the motions which the planets now have, could not spring from any natural cause alone, but were impressed by an intelligent Agent. [*Opera...*, t. IV, p. 431.]

¿Significan estas declaraciones antinaturalistas que, para Newton, las causas últimas de los fenómenos naturales ya no podían ser objeto de la investigación científica, que su indagación debía dejarse a la teología metafísica? En absoluto; para Newton, la “ciencia de la Naturaleza” no era identificable con la Mecánica, ni con la “ciencia natural” en nuestro sentido. Aunque algo escapara a la Mecánica, no por eso dejaba de ser asequible al método científico, al método “inductivo”, como lo llama Newton. Está bien aplicar la Mecánica hasta donde sea posible; pero, superado el límite de la Mecánica, el científico no debe cerrar los ojos y abandonar el resto a una metafísica especulativa. Por el contrario, debe buscar, con la misma metodología de siempre, nuevos principios explicativos. La explicación causal-mecánica de la Naturaleza puede y debe ser complementada por principios no-mecánicos, basados en la hipótesis de una realidad espiritual. De hecho, Newton no admitía la separación tajante, y ya corriente en su época, entre ciencia y teología. Es posible que incluso concibiese su propia obra como el primer paso hacia una “teología empírica”, basada en experimentos y matemáticas, y que, procediendo por “inducción”, permitiera un conocimiento científico y paulatino de Dios. Esto explicaría también el hecho (algo desconcertante para los estudiosos modernos de Newton) de que el autor de los *Principia* y la *Opticks* estuviera, a la vez, profunda y genuinamente interesado en cuestiones teológicas.

6. La teleología newtoniana

Pero veamos más detenidamente cómo concebía Newton una metodología científica que superara el marco del mecanicismo y permitiera abordar las cuestiones teológicas.

Ante todo, distingue dos grandes tipos de principios explicativos o “leyes generales”: *principios activos* y *principios pasivos*. Los principios pasivos

son de carácter puramente mecánico, es decir, constituyen el fundamento de la Mecánica. (En la terminología de Newton, podría definirse la Mecánica precisamente como la “ciencia de los principios pasivos”.) El ejemplo típico de principio pasivo es el *principio de inercia*, su primera *lex motus*. Los principios pasivos son el máximo tipo de generalizaciones empíricas que se pueden justificar mecánicamente. El descubrimiento de principios pasivos es importante; pero ellos solos no explican todo.

The *vis inertiae* is a passive principle... By this principle alone there never could have been any motion in the world. Some other principle was necessary for putting bodies into motion, some other principle is necessary for conserving the motion. [*Query 31, Opticks, Opera...*, t. IV, p. 258.]

A esos principios adicionales, que permiten una explicación más completa de la Naturaleza y que no pueden concebirse mecánicamente, los denomina “principios activos”. El ejemplo más famoso es nuevamente el principio de gravitación, es decir, el principio según el cual todos los cuerpos del Universo se ejercen una acción a distancia cuya magnitud viene fijada por la ley de gravitación. Sin la admisión de este principio como algo externo a la Mecánica (pues en verdad no es deducible de las *leges motus*), Newton no habría concebido la teoría matemática de la gravitación.

También en otros campos, que en la época de Newton estaban poco estudiados, como el dominio de los efectos eléctricos y magnéticos o el de las reacciones químicas, deberían buscarse principios activos de explicación. La búsqueda de tales principios en los campos menos conocidos de la ciencia es un *leitmotiv* de las *Queries* de la *Óptica*:

These Particles have not only a *Vis Inertiae*, accompanied with such passive laws of motion as naturally result from that force but also ... are moved by certain Active principles, such as that of gravity, and that which causes fermentation, and the cohesion of bodies. These principles I consider not as Occult properties ... but as general laws of Nature by which the things themselves are formed: their truth appearing to us by phenomena, though their causes be not yet discovered. [*Opera...*, t. IV, pp. 260-261.]

Por lo que conozco, Newton no especificó nunca las características concretas de los principios activos; probablemente, él mismo no tenía las ideas claras al respecto, y en tal situación, “*hypotheses non finxit*”. De hecho, Newton sólo dio ejemplos concretos de principios activos, no una caracterización general. Sus ejemplos son: ante todo, la gravitación, pero también las fuerzas que intervienen en las reacciones químicas y las fuerzas de cohesión dentro de los sólidos; del contexto de la *Query 31* se desprende que también contaba entre los principios activos a las fuerzas eléctricas y magnéticas, y a las “fuerzas vitales”.

Aunque Newton no proporcionase un criterio general y operativo para distinguir los principios activos de los pasivos, lo que queda claro de su texto es que veía el origen o fundamento de los primeros en un principio superior y universal, proveniente, en último término, de la voluntad de Dios. Ya hemos visto cómo en su primera carta a Bentley supone que los movimientos armónicos de los planetas sólo pueden explicarse por la voluntad de un agente inteligente. Y en la *Query 31* concluye su discusión de los principios activos con las siguientes palabras:

Now by the help of these principles, all material things seem to have been composed of the hard and solid particles above-mentioned; variously associated, in the first creation, by the counsel of an intelligent Agent. For it became Him who created them, to set them in order. [*Opera...*, t. IV, p. 261.]

Se trata aquí de una explicación teleológica de la función de los principios activos dentro del plan divino. Los principios pasivos de la Mecánica deben subordinarse a los principios activos, subordinados a su vez al Plan General de Dios. Sólo bajo esa perspectiva jerárquica puede explicarse el Universo.

Ahora bien, la justificación teleológica de los principios activos no debe engañarnos acerca de cómo los consideraba Newton dentro de su obra científica. Para él, los principios activos eran tan *empíricos* como los pasivos. No se trataba de principios metafísicos. Los principios activos eran asequibles a la investigación experimental en el mismo sentido que los pasivos, sólo que un poco más difíciles de estudiar; y la pregunta por la finalidad de los principios activos, una cuestión tan empírica como la de averiguar las leyes del movimiento. En la primera versión del *Scholium Generale* es muy explícito:

certainly final causes have a place in natural philosophy; and now it certainly will be legitimate to inquire to what end this world was founded. [Hall & Hall, *Unpublished Scientific Papers...*, p. 363.]

A modo de conclusión, parece plausible esbozar el siguiente cuadro general de la metodología newtoniana. A partir de las observaciones y experimentos realizados cuidadosamente en determinados dominios de la Naturaleza se obtienen, en un primer paso inductivo, las regularidades de "bajo nivel" que Newton, en los *Principia*, llama "fenómenos", tales como las leyes de Kepler en astronomía o la ley de refracción de Snell en óptica. Mediante un segundo paso inductivo, esas regularidades empíricas se incluyen en leyes mucho más generales, que pueden aplicarse a otros dominios distintos de los estudiados originariamente. Esto es posible gracias a las consideraciones de analogía: analogía y leyes generales van íntimamente asociadas. Un instrumento útil para la obtención de leyes generales es la formulación de "hipóte-

sis" sin comprobación empírica. Las hipótesis deben tomarse sólo como *preguntas* ("queries") que se hacen a la Naturaleza a fin de obtener una respuesta en determinado sentido. Pero las hipótesis, a ser posible, no deben figurar en un sistema científico concluso; sólo sirven para la preparación del sistema. Todas las leyes generales que aparecen en un sistema científico acabado deben haberse inferido inductivamente a partir de los "fenómenos", y por tanto, en definitiva, de observaciones y experimentos. Algunas de las leyes generales de un sistema científico (como las leyes del movimiento) son de carácter puramente *mecánico*; pero otras (como la ley de la gravitación o las leyes de las reacciones químicas) contienen nociones (gravitación, fermentación) que no pueden interpretarse mecánicamente. Esas nociones sólo resultan comprensibles si se admiten principios *teleológicos* en la investigación científica. Éstos, a su vez, se justifican con conceptos *teológicos*.

La metodología newtoniana pretende ir pues "de abajo arriba", y no al revés, como en Descartes o Leibniz. Y no se limita a principios causal-mecánicos ("naturales") de explicación, sino que acude, cuando lo considera necesario, a principios *teleológicos*. No puede trazarse una línea tajante de separación entre ciencia y teología. En principio, la investigación de las propiedades y los propósitos de Dios también ha de ser posible mediante el método "inductivo":

Et haec de Deo, de quo utique ex Phaenomenis disserere, ad philosophiam experimentalem pertinet. Ex phaenomenis prodeunt proximae rerum causae: ex his, causae superioris donec ad causam summam perveniatur. [Hall & Hall, *Unpublished Scientific Papers* . . . , p. 348.]

Si quisiera resumirse la metodología newtoniana en un término-cliché, aunque esto es siempre peligroso, podría quizás decirse que se trata de un "inductivismo teleológico". Esta concepción metodológica de uno de los más grandes científicos de la historia probablemente disguste al paladar metodológico actual. Pero no deja de ser un dato interesante para el filósofo de la ciencia el de que alguien pueda llegar a resultados científicos universalmente aceptados propugnando al mismo tiempo una metodología y una filosofía que los cánones modernos consideran inaceptables.

CARLOS-ULISES MOULINES

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes

- NEWTON, I.: *Opera quae exstant omnia*, t. II, III, IV. Edición publicada por S. Horley. Londres, 1779-1785. Reimpresión en Stuttgart, 1964.
- NEWTON, I.: *Newton's Principia.—Motte's Translation Revised*. Revisión de F. Cajori de la traducción de A. Motte. Berkeley, California, 1947.
- ALEXANDER, H. G.: *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester, 1962.
- GERHARD, C.: *Der Briefwechsel von Leibniz mit Mathematikern*. Berlín, 1899.
- HALL, A. R. y M. B.: *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge, 1962.

Bibliografía secundaria

- BUCHDAHL, G.: "Explanation and Gravity". En: M. TEICH y R. YOUNG, *Changing Perspectives in the History of Science*. Londres, 1973.
- COHEN, I. B.: "Hypotheses in Newton's Philosophy". En: *Physis*, 1966, 8, pp. 163-84.
- COHEN, I. B.: *Introduction to Isaac Newton's Principia*. Harvard, 1971.
- KOYRÉ, A.: *Newtonian Studies*. Londres, 1965.
- MACH, E.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig, 1965.
- MITTELSTRASS, J.: *Die Rettung der Phänomene*. Berlín, 1962.
- PIGHETTI, C.: "A proposito delle ipotesi nella metodologia newtoniana." En: *Archives internationales d'histoire des sciences*. 1962, 60-61, p. 291.
- RATTANSI, P. M.: "Some Evaluations of Reason in Sixteenth- and Seventeenth-Century Natural Philosophy". En: M. TEICH y R. YOUNG, *Changing Perspectives in the History of Science*. Londres, 1973.