

LA CONCEPCIÓN KUHNIANA DE LA CIENCIA Y LA REVOLUCIÓN NEWTONIANA EN MECÁNICA¹

C. Ulises MOULINES

En su ensayo sobre "La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales", Imre Lakatos abría la discusión afirmando, a modo de paráfrasis de una famosa frase de Kant, que: "sin la historia de la ciencia, la filosofía de la ciencia es vacía, y sin la filosofía de la ciencia la historia de la ciencia es ciega".²

Tal vez algunos historiadores, y también algunos filósofos, consideren un tanto exagerada esta atrevida afirmación, y es probable que muchos historiadores de la ciencia que para nada se preocupan de cuestiones filosóficas se sientan ofendidos al ser aparentemente considerados "ciegos" por causa de su actitud no filosófica. Pero incluso si no queremos tomar demasiado al pie de la letra la afirmación de Lakatos, creo que está fuera de duda que muchos filósofos e historiadores de la ciencia se han percatado desde hace tiempo de que existen estrechas relaciones entre ambas disciplinas, y que la una puede ayudar a la otra. Es evidente que cualquier reflexión filosófica sobre la ciencia precisa tomar como punto de partida las teorías científicas históricamente dadas o actualmente existentes. Por otro lado, aunque quizás no parezca tan evidente, también es cierto que el tipo de análisis y reconstrucción conceptual que es considerado la tarea propia del filósofo de

¹ Este artículo es una versión ligeramente revisada del ensayo publicado en lengua portuguesa en la *Revista Ciência e Filosofia*, nº 2 (1980), São Paulo, bajo el título "A concepção kuhneana da ciencia e a revolução newtoniana em mecânica".

² cf. Imre Lakatos: "History of science and its rational reconstructions", en: *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. VIII, 1971, p. 91.

Éndoxa: Series Filosóficas, nº 9, 1997, UNED, Madrid:

Carlos Ulises Moulines: *La concepción kuhniana de la ciencia y la revolución newtoniana en mecánica.*

pp. 31-49.

la ciencia puede ser útil para una evaluación de la historia de la ciencia. Con el fin de sustentar esta tesis, diré primero algo sobre la noción de *interpretación*, noción que a veces también es denominada en nuestro ámbito "reconstrucción lógica".

Examinemos por un instante la tarea del científico cuando intenta dar cuenta de un fenómeno natural o social. Doy por supuesto que estamos de acuerdo en rechazar un empirismo puro y duro; en tal caso, concordaremos en que las teorías científicas destinadas a dar cuenta de los fenómenos no son meras colecciones de hechos, ni siquiera colecciones de regularidades empíricas, sino que se trata de esquemas conceptuales destinados a ayudar a los científicos a interpretar los fenómenos que están investigando. Las teorías científicas son marcos interpretativos. Sin estas interpretaciones de la naturaleza o de la sociedad, que en cierto sentido son anteriores a, e independientes de, cualesquiera resultados empíricos concretos, permaneceríamos *ciegos* frente a la naturaleza o la sociedad, o sea, permaneceríamos incapaces de comprender lo que estamos investigando.

Ahora bien, esta situación caracteriza no solo el estudio de los fenómenos naturales o sociales de primer orden, sino también el estudio de las *teorías* destinadas a dar cuenta de dichos fenómenos. El registro puramente cronológico de hechos históricos acerca de la ciencia no ofrece ninguna clave para la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Precisamos siempre de una interpretación.

Para lograr la necesaria interpretación de los hechos históricos, es preciso elaborar determinadas teorías generales acerca de las teorías científicas, y a estas teorías las podemos llamar propiamente "filosóficas" o, si se prefiere, "histórico-filosóficas". Está claro que tales teorías no pueden ser arbitrarias, deben ser más o menos verosímiles, y el criterio fundamental de aceptabilidad en este campo deberá apelar en definitiva a los hechos históricos. Pero esta fundamentación ocurre *después* y no antes de concebir la teoría general, pues es preciso seleccionar, de entre una enorme masa de

hechos aparentemente amorfos, aquellos que son relevantes para la afirmación de la verosimilitud o inverosimilitud de la teoría interpretativa.

En 1962, Thomas Kuhn propuso una determinada metateoría histórico-filosófica con la finalidad de explicar la evolución histórica de la ciencia natural. Esa teoría quedó expuesta en su famoso libro *La estructura de las revoluciones científicas*, y en años posteriores Kuhn mismo presentó formas más refinadas de la versión original de su teoría. Asimismo, otros autores propusieron concepciones diacrónicas de la ciencia alternativas, destinadas en parte a replicar a la concepción kuhneana. De ellas, la más divulgada ha sido la concepción de los programas de investigación científica propuesta por Lakatos.³ En este ensayo, sin embargo, voy a darle la prioridad a la teoría de Kuhn, no porque la quiera tomar acriticamente como un dogma establecido, sino porque me parece más sugerente y prometedora que sus rivales a la hora de interpretar adecuadamente el ejemplo histórico concreto que aquí me interesa analizar, a saber, la mecánica newtoniana. Ello no excluye, por supuesto, que otras metateorías diacrónicas, por ejemplo la lakatosiana, sean más adecuadas para interpretar otros aspectos de la evolución de las ciencias empíricas.

Habiendo declarado mi preferencia en este caso por la teoría de Kuhn, ello no significa, sin embargo, que las conclusiones a las que creo poder llegar en la interpretación de la mecánica newtoniana dependan unívocamente de la aceptación de la teoría general de Kuhn. De hecho dicha teoría y la interpretación que se propondrá aquí de la mecánica newtoniana son independientes. Es decir, es posible aceptar la interpretación propuesta sin asumir un compromiso en la aceptación de la totalidad de la teoría kuhneana, y

³ cf. I. Lakatos: "Falsification and the methodology of scientific research programmes". En: I. Lakatos/A. Musgrave (comps.): *Criticism and the growth of knowledge*, Cambridge 1970.

recíprocamente, es posible aceptar el marco general kuhniano y, no obstante, rechazar el análisis concreto que aquí se ofrece de la mecánica newtoniana.

Conforme a lo que sugiere el título del libro de Kuhn, éste trata de la naturaleza de las revoluciones científicas, es decir, de determinados procesos culturales, cuyos ejemplos paradigmáticos serían la revolución copernicana en astronomía, la revolución darwiniana en biología o la revolución relativista en física. Ahora bien, Kuhn no se limita a tratar de los aspectos revolucionarios de la ciencia, sino que trata también (y aun de manera más sistemática) de los periodos intermediarios entre dos revoluciones por los que atraviesa cada disciplina científica: es lo que él llama la "ciencia normal". Kuhn distingue pues dos maneras fundamentales de hacer ciencia: la manera "normal" y la manera "revolucionaria". Bajo la primera forma, la empresa científica se caracteriza porque en ella se aceptan sin discusión ciertos marcos conceptuales y ciertos principios básicos; estos instrumentos *a priori* son utilizados como guías para interpretar los hechos y para resolver problemas específicos que sólo adquieren significado en el interior del marco de dichos principios básicos. A toda la constelación de métodos, principios y conceptos básicos, junto con los ejemplos orientadores, que subyacen a la investigación normal, y que nunca son cuestionados durante un periodo de ciencia normal, la engloba Kuhn bajo la denominación de "paradigma" de la disciplina correspondiente durante ese periodo; y al tipo de actividad científica que se lleva a cabo bajo la "protección" del paradigma la describió como una forma de "resolución de rompecabezas" (puzzle-solving). Una característica de esta resolución de rompecabezas que provocó muchas críticas de Kuhn consiste en el hecho de que, según este autor, dicha actividad nunca puede por sí misma conducir a un cuestionamiento y mucho menos a un rechazo del paradigma. Volveré sobre este punto cuando examinemos el ejemplo escogido de la mecánica newtoniana.

La otra forma de investigación científica distinguida por Kuhn es aquella que él denomina "ciencia extraordinaria". De vez en cuando, la investigación normal es perturbada por periodos de crisis, los cuales, en caso de que se prolonguen por largo tiempo, pueden conducir (aunque no necesariamente) a una revolución científica y un cambio de paradigma. En tales casos, el antiguo paradigma, que no era cuestionado en el periodo anterior, es abandonado y sustituido por un nuevo paradigma.

Ahora bien, un punto que es importante subrayar aquí es que, conforme a esta concepción de las revoluciones científicas, el cambio esencial que se da en ellas no es tanto de tipo empírico, esto es, ligado a descubrimientos y resultados empíricos, sino más bien un cambio en las estructuras conceptuales básicas por medio de las cuales se interpreta la realidad empírica. Desde el momento en que surge el nuevo paradigma, se está proponiendo un nuevo modo de ver el mundo, un modo que al principio no está muy bien articulado ni muy bien sustentado por los resultados empíricos. En las palabras del propio Kuhn, el nuevo paradigma es más bien una "promesa" que cualquier otra cosa. En la investigación subsiguiente, los seguidores del nuevo paradigma tienen que mostrar de qué manera los principios un tanto vagos del paradigma nuevo pueden ser efectivamente articulados con el fin de proporcionar resultados empíricos concretos. Ésta puede resultar una tarea para generaciones enteras de científicos "normales".

Por razones obvias, en este breve artículo no puedo entrar a fondo en los pormenores de la concepción kuhniana, pero considero que ya he subrayado los puntos más relevantes en relación con los aspectos particulares de la revolución newtoniana, que es en definitiva lo que me interesa analizar.

Partiré aquí de la premisa según la cual el advenimiento de la mecánica newtoniana es una revolución científica en el sentido de Kuhn. Quizás haya quien esté en desacuerdo con esta premisa. Puede haber dos tipos de razones para tal desacuerdo: un tipo

general y un tipo particular. El tipo general de razón en contra de dicha premisa sería el siguiente: las revoluciones científicas son simplemente cosas que no existen; la evolución de la ciencia consiste en un proceso acumulativo y continuo, en el que las tradiciones pasadas quedan siempre bien incorporadas en las nuevas tradiciones de investigación. Ahora bien, aunque admito que Kuhn y sus seguidores han hecho proliferar las "revoluciones científicas" más de lo que históricamente parece plausible, también creo, por otro lado, que sus trabajos y los de otros historiadores y filósofos de la ciencia han mostrado de manera convincente que el concepto de revolución científica no es vacío y que permite una interpretación plausible de una serie de eventos históricamente dados en el desarrollo de las ciencias empíricas desde sus orígenes. Aunque probablemente con menor frecuencia de la postulada por Kuhn, se dan efectivamente rupturas conceptuales y proposicionales profundas en la ciencia. Quizás a algunos disguste el término "revolución" porque puede parecer un poco exagerado para aplicarlo al campo de las disciplinas científicas, sobre todo si se lo compara con lo que son las revoluciones político-sociales. Podríamos utilizar entonces cualquier otro término que se considere más conveniente; pero pienso que ésta es una cuestión terminológica de poca importancia; lo que realmente importa es aceptar la realidad de tales rupturas y analizarlas.

Incluso si se acepta la existencia de revoluciones científicas en general, el tipo particular de razón para aplicarla al caso que nos interesa aquí consistiría en afirmar que la emergencia de la mecánica newtoniana no corresponde históricamente a dichos eventos. Ahora bien, admitida la relevancia general del concepto de revolución científica (o alguna noción análoga), me parece difícilmente sustentable entonces que no apliquemos dicho concepto a la situación histórica que se dió en la mecánica antes y después de Newton. La mecánica newtoniana, en efecto, emergió como un nuevo paradigma que sustituyó enteramente, y de manera podríamos decir "agresiva", el paradigma mecánico que

había regido en esta disciplina casi incuestionado durante el medio siglo anterior: a saber, el programa cartesiano de explicación mecánica. El paso de la visión cartesiana de la naturaleza, con sus conceptos y principios más básicos, a la visión newtoniana no es efectivamente una transición suave en la cual la tradición anterior queda recogida por la posterior, sino que se trata de una ruptura profunda, tanto a nivel conceptual como proposicional y metodológico. Newton mismo, a pesar de ser poco explícito en general en sus referencias a otros autores, enfatiza en diversos pasajes de su obra su total rechazo de la mecánica cartesiana. Y así lo comprendieron también sus contemporáneos, tanto sus propios discípulos como los físicos que se adscribían más bien a la tradición cartesiana (Huygens, por ejemplo). Así pues, sin que pueda desarrollarse aquí el detalle histórico de esta constatación, parece evidente que, si ha habido alguna vez una revolución científica, la emergencia de la mecánica newtoniana fue sin duda una de ellas. La finalidad principal de las páginas que siguen consiste en detectar y discutir lo que considero como la innovación conceptual más notable introducida por el advenimiento revolucionario de la mecánica newtoniana.

Antes de empezar propiamente con el análisis de este ejemplo, quisiera explicitar un poco más la estructura de las revoluciones científicas en general según Kuhn. Sabemos que ellas implican la suplantación de un paradigma por otro. Pero aun no hemos explicitado la noción central de paradigma que está en juego aquí. Como es sabido, después de la publicación de la primera edición del libro de Kuhn, este autor fue justamente criticado por haber usado el término "paradigma" de modo multívoco e impreciso. Kuhn aceptó, al menos en parte, esta crítica e intentó ser más explícito en su *Postcript* de 1969. En la nueva versión, sustituyó el término "paradigma" por el de "matriz disciplinaria", y entonces definió una matriz disciplinaria como aquella estructura básica de una teoría científica que consiste en los cuatro siguientes componentes interconectados:

- 1) Generalizaciones simbólicas.
- 2) Modelos ontológicos y analógicos.
- 3) Valores.
- 4) Ejemplos de aplicaciones.

Así pues, cualquier revolución científica implicará un profundo cambio por ruptura en por lo menos alguno de estos componentes de una matriz disciplinaria, y probablemente en todos ellos, en la medida en que se dan vínculos esenciales entre los mismos.

En el caso de la revolución newtoniana, me limitaré al análisis del primer componente de la matriz disciplinaria, y no porque piense que no hay nada que decir sobre los otros componentes, sino más bien porque considero que fue alrededor del primer componente que tuvieron lugar los cambios conceptuales más profundos, que se transmitieron naturalmente a los demás aspectos de la matriz.

Las "generalizaciones simbólicas" de Kuhn podrían ser llamadas también "leyes o principios fundamentales". Ellas desempeñan el papel de sintetizar los fundamentos conceptuales y proposicionales de la teoría que han de permanecer incuestionados durante todo el desarrollo de la misma, son los fundamentos que todo miembro de la comunidad científica adscrita a dicha matriz disciplinaria, en este caso la mecánica newtoniana, debe aceptar sin discusión, incluso antes de comenzar cualquier investigación empírica concreta. Una característica interesante de estos principios, señalada ya por Kuhn mismo, radica en que nunca parece enteramente claro si ellos son sólo *definiciones* convencionales de conceptos básicos o bien se trata de generalizaciones empíricas acerca de *cuestiones de hecho*. Kuhn mismo no llega a ninguna conclusión sobre este punto. Volveremos sobre ello más adelante.

Con respecto al ejemplo de la mecánica newtoniana, Kuhn concuerda con otros filósofos de la ciencia en que el principio más

fundamental de esta teoría es la ecuación dinámica conocida como la Segunda Ley de Newton, o sea, la ecuación: " $F = m \cdot a$ ". Ahora bien, existe una larga historia de controversias acerca del papel y del estatuto que corresponden a este principio dinámico. Las discusiones han girado invariablemente alrededor de una doble distinción metodológica: por un lado, la distinción entre definiciones y enunciados empíricos; por otro lado, la distinción entre principios descriptivos y prescriptivos. Partiendo de esta doble dicotomía como premisa de la discusión, los analistas se han preguntado si la ecuación " $F = m \cdot a$ " es un enunciado empírico de hecho o bien una definición del término "fuerza"; y, en conexión con ello han discutido si dicha ecuación debe ser tomada como una descripción de situaciones empíricas encontradas en la naturaleza o bien como una prescripción acerca del modo como los científicos deben usar ciertos conceptos. Algunos autores adoptaron uno de los puntos de vista, los otros el otro, y la controversia lleva durando ya varios siglos. Cada uno de los dos puntos de vista adquiere cierta plausibilidad *prima facie* por el hecho de que puede mostrarse que el punto de vista opuesto enfrenta serias dificultades. Por ejemplo, un partidario de la concepción según la cual " $F = m \cdot a$ " es un enunciado empírico puede señalar el hecho de que si esa ecuación fuera sólo una definición, entonces toda la mecánica newtoniana estaría basada meramente en una tautología y se tomaría una ciencia *a priori*, lo cual sin duda, parece inverosímil. Por otro lado, el adversario puede replicar que es muy difícil, si no imposible, especificar el hecho comprobable particular que hay que constatar para confirmar o rechazar dicha ecuación. En efecto, es posible demostrar formalmente que cualquier situación empírica observable, o sea, cualquier cinemática concebible es compatible con aquella ecuación.

Por lo que respecta a la oposición entre la interpretación descriptivista y la prescriptivista, también puede mostrarse que cada una de las posiciones enfrenta dificultades semejantes. En efecto, si la ecuación se toma como prescripción, entonces la

mecánica se convierte en una disciplina normativa y no en una teoría empírica; por otro lado, si se trata de una descripción, entonces ¿cuál es la situación empírica concreta que se está efectivamente describiendo y qué estados de cosas excluye ella?.

En mi opinión, la raíz de estas dificultades estriba en que el uso de esa doble dicotomía (definición/enunciado empírico, prescripción/descripción) es excesivamente simplista, y por lo tanto engañosa. Y precisamente uno de los méritos de la concepción kuhniiana es que ella, implícitamente, conduce a la constatación de que hay que buscar un nuevo planteamiento de esta cuestión.

Ahora bien, lo primero que es importante notar en este problema es que la verdadera "trampa" en la discusión del estatuto de " $F = m \cdot a$ " consiste en la misma noción de fuerza. Las dificultades de este concepto las intuyeron los científicos desde el principio. En efecto, la fuerza newtoniana apareció ante los ojos de la mayoría de los contemporáneos profesionales de Newton no sólo como un concepto totalmente nuevo, sino como una idea que suscitaba mucha desconfianza e incluso resistencia abierta. Ello fue así no sólo entre algunos famosos contemporáneos de Newton, tales como Huygens y Leibniz, sino también entre científicos y filósofos posteriores, incluso cuando ya habían sido testigos de los éxitos empíricos de la mecánica newtoniana. D'Alembert, por ejemplo, consideraba que el concepto newtoniano de fuerza provenía de una indebida "especulación metafísica". Al principio de su muy influyente *Tratado de Dinámica*, a mediados del siglo XVIII, escribe él:

"He proscrito totalmente las fuerzas inherentes a los cuerpos en movimiento, seres oscuros y metafísicos, que no son aptos más que para difundir las tinieblas en una ciencia que en sí misma debería ser clara."⁴

⁴ He traducido del original francés este pasaje de D'Alembert (1743).

Desde entonces, muchos científicos y filósofos importantes han intentado excluir la noción de fuerza de la mecánica, o por lo menos definirla nominalmente, lo cual viene a ser lo mismo, dado que proporcionar la definición de un término no es otra cosa que proporcionar una regla para eliminarlo de cualquier contexto en el que él aparezca. Este fue, en efecto, el camino seguido por los estudios fundacionales de la mecánica durante la segunda mitad del siglo XIX, por autores tan influyentes, como Kirchhoff, Mach y Hertz. Asimismo, este proyecto puede detectarse también en algunas axiomatizaciones contemporáneas de la mecánica newtoniana como las de Hans Hermes y Herbert Simon. En todos estos casos, el Segundo Principio de Newton, si es que es mencionado, es propuesto como una mera definición nominal del término "fuerza", del mismo modo como la ecuación " $a^2 = a \cdot a$ " es una definición nominal del cuadrado de un número. De esta manera, el término "fuerza" no debería ser otra cosa sino una abreviación para la expresión no mucho más larga "masa por aceleración". Si seguimos esta vía, debería resultar bastante fácil reconstruir la mecánica clásica sin el concepto de fuerza, y en efecto, esto fue la vía que emprendió Hertz en su Tratado de Mecánica. No obstante, es sabido que el intento de Hertz, y otros semejantes, de prescindir del uso de la noción de fuerza, no han tenido ninguna influencia duradera en el desarrollo de la mecánica ni en sus presentaciones didácticas. Hoy día, seguimos trabajando con la mecánica clásica, pero seguimos trabajando en ella con la noción de fuerza como noción central. Considero que es precisamente este hecho el que da la clave para comprender las características esenciales del paradigma newtoniano. Este es el hecho notable del que hay que dar cuenta en una elucidación metateórica plausible de la mecánica newtoniana.

En este punto, sin embargo, hay de dejar claro que no se trata de que exista un error formal en la tentativa de eliminar las fuerzas de la mecánica. No se trata de una cuestión puramente lógica. Ella se sitúa a un nivel más profundo de la estructura

conceptual de la teoría: *hacer* mecánica newtoniana es utilizar el concepto de fuerza como noción central y no sólo como abreviatura. Está claro que para estudiar la realidad empírica, incluso sus aspectos puramente mecánicos, podríamos prescindir de las fuerzas, pero ello equivaldría también a prescindir del marco general creado por Newton, y eso es algo que nadie quiere hacer, a menos que ya se tenga a mano otra teoría más poderosa, como es la teoría de la relatividad.

La principal razón por la que tantos pensadores se han sentido poco a gusto con el concepto de fuerza estriba en que sin duda es difícil decir cuál es el significado o la referencia empírica de esa noción. Y si leemos con atención los pasajes introductorios de los *Principia* de Newton veremos que él mismo se sentía algo inseguro al tratar de explicar cómo debe ser interpretada la noción de fuerza. En efecto, sus aclaraciones introductorias no son de mucha utilidad para el resto de la obra, y la diversidad de contextos en los cuales se aplica la noción de fuerza en los *Principia* hace patente que era muy difícil para su autor, y no digamos para los demás, proporcionar una caracterización unívoca y satisfactoria de la fuerza en términos empíricos. No es de extrañar que pensadores de mentalidad tan fuertemente empirista, por no decir positivista, como D'Alembert, sintiesen que el concepto newtoniano de fuerza era "oscuro y metafísico".

En el estadio actual del análisis de los fundamentos de las ciencias empíricas, especialmente de la física, hace ya algunas décadas que ha acabado por reconocerse que una semántica puramente empirista no es apropiada para el análisis de las teorías científicas, o por lo menos para las partes más avanzadas de la ciencia; estamos entonces más predispuestos a aprehender lo esencial de la noción newtoniana de fuerza. En efecto, sabemos que cualquier teoría avanzada incluye, por un lado, un determinado conjunto de conceptos que constituyen la base empírica de confirmación o rechazo de la teoría, y que son semánticamente y

metodológicamente independientes de ella; pero además existen otros conceptos teóricos, que podemos calificar de "alto nivel", los cuales no poseen un significado independiente de la teoría ni pueden ser aplicados si no tomamos en cuenta los principios básicos de la misma. Tales conceptos, que son constituyentes específicos de la teoría en cuestión, pueden caracterizarse como empíricamente "abiertos" o subdeterminados, pero por esta misma razón, ellos no se reducen a mera ficciones metafísicas; por el contrario, representan poderosos instrumentos que permiten muchas interpretaciones diferentes de la teoría en cuestión, y en consecuencia muchas aplicaciones diferentes de la misma a diferentes situaciones. Pues bien, sostengo la tesis de que la fuerza newtoniana es un ejemplo paradigmático de tales conceptos altamente teóricos; posiblemente, ella representó el primer ejemplo histórico de tal tipo. Y se debió precisamente a la presencia constitutiva de un concepto de tal naturaleza que el marco general newtoniano de explicación de la naturaleza resultó ser tan poderoso y revolucionario.

Los conceptos altamente teóricos quedan fijados por principios altamente teóricos en el nivel más fundamental de la teoría de que se trate. Tales principios no son ni definiciones nominales ni enunciados de hecho que pueden ser confirmados o refutados por la observación o la experimentación directas. En cierto sentido, pueden describirse tales principios como *a priori* (aunque no de una manera absoluta, como quería Kant, sino relativamente a la teoría a la cual pertenecen). Dado que estos principios indudablemente poseen un contenido real, referido a la naturaleza, podríamos, con la salvedad apuntada, adoptar la terminología kantiana aquí y describirlos como "principios sintéticos *a priori*". Incluso si no aceptamos la concepción general kantiana acerca de los sintético *a priori*, podemos admitir que esta categoría kantiana apunta a un aspecto importante de las teorías científicas, y particularmente de la mecánica newtoniana (la única teoría empírica que Kant conocía

bien), que no había sido comprendido por los filósofos y epistemólogos anteriores.

El Segundo Principio de Newton pertenece a tal categoría de principios. Es *a priori* para la mecánica clásica en la medida en que debe ser asumido antes de que podamos iniciar el trabajo realmente empírico en el interior de dicha teoría; es el trasfondo frente al cual adquieren sentido todas las ecuaciones dinámicas particulares que dicha teoría postula para sistematizar toda experiencia mecánica. Se trata de un principio "abierto" en la medida en que permite muchos tipos diferentes de interpretaciones y aplicaciones. Resumiendo estas características, podemos afirmar: el Segundo Principio de Newton consiste en un esquema general, que se utiliza como regla heurística para obtener las diferentes ecuaciones dinámicas. Y ésta es, a su vez, la razón por la cual ese principio no puede ser considerado sólo una definición ni sólo un enunciado empírico de hecho. Y ésta es también la razón por la cual no se trata de un enunciado ni puramente descriptivo ni puramente prescriptivo.

El hecho de que el Segundo Principio de Newton efectivamente no sea un enunciado unívoco, sino más bien un *esquema* de enunciados, es debido a la estructura especial de uno de los términos que él incluye, a saber, el término "fuerza". De manera análoga, este término no debe ser interpretado como un concepto único con significado fijo (como pueden ser los términos de masa y aceleración); se trata más bien de lo que, en terminología lógica, podríamos denominar una "variable predicativa esquemática", o más exactamente aún, como una variable funcional cuantificada existencialment.

Para poner en claro qué significa exactamente esta descripción del término newtoniano de fuerza, voy a presentar una reformulación del principio de Newton bajo una forma un tanto singular y extensa, de la cual espero, sin embargo, que permita entender

mejor lo que se está afirmando con este principio. La reformulación propuesta es la siguiente:

"Para cualquier sistema mecánico dado, existe un determinado conjunto de parámetros y existe un cierto funcional de esos parámetros con propiedades matemáticas no triviales, tales que, para cada partícula del sistema en cualquier momento dado, el valor asumido por ese funcional es igual a la masa de la partícula multiplicada por su aceleración".

Nótese que en esta formulación estamos cuantificando existencialmente sobre por lo menos dos tipos de funciones: por un lado, los llamados "parámetros" que no son otra cosa sino funciones de primer orden, que por así decir, están al mismo nivel lógico que la masa y la aceleración; y, por otro lado, sobre un funcional de esos parámetros, que es, por tanto, una función de segundo orden. Así, pues, estamos cuantificando simultáneamente a dos niveles lógicos distintos.

El funcional cuantificado existencialmente, cuyos argumentos son los parámetros en cuestión, es justamente lo que normalmente llamamos la *fuerza* que actúa sobre una partícula; nada específico se dice acerca de ella en la presente reformulación del Segundo Principio, aparte de postular que ese funcional debe poseer ciertas propiedades matemáticas no-triviales.

Tampoco decimos nada específico acerca de los parámetros, de los que depende el funcional. Ellos pueden ser de tipos muy diferentes, y ello depende del problema específico con el que estemos lidiando; pueden ser, por ejemplo, coordenadas espaciales o temporales, velocidades, cargas eléctricas, masas, coeficientes de elasticidad, coeficientes de la resistencia del medio, etc. Y la forma específica tomada por el funcional para los diferentes tipos de parámetros de que se trate también puede variar mucho: puede ser una función lineal, o una función inversa del cuadrado de la

distancia, o una función exponencial de la velocidad, y muchas cosas más. Las únicas exigencias generales a las que sometemos el funcional (además de las conocidas propiedades matemáticas) consisten en que su forma algebraica no resulte demasiado trivial (en el sentido, por ejemplo, de que se limitara a repetir la expresión " $m \cdot a$ ", lo cual haría el principio empíricamente inútil por tautológico), ni tampoco tan complicada que haga imposible el cálculo. Es difícil imaginar cómo estas dos exigencias pudieran resultar completamente formalizadas, pero sin duda que todo físico bien entrenado les confiere gran importancia y dispone de criterios más o menos intuitivos para deslindar formas algebraicas triviales de las no-triviales.

Al especificar todas las diferentes posibilidades contenidas en esta formulación del Segundo Principio, es decir, al especificar el significado de los parámetros individuales así como su interrelación funcional, obtenemos las diferentes leyes dinámicas empíricas específicas que pueden ser puestas a prueba. El principio en sí mismo sólo declara que *existen* tales posibilidades, pero no especifica ninguna de ellas. He aquí la razón por la cual el enunciado del Segundo Principio de Newton parece no decir nada empíricamente concreto.

Examinemos la forma lógica de dicho principio con un poco más de detenimiento. Es sintomático el número de cuantificadores existenciales involucrados en este enunciado. No son solamente el funcional y los parámetros correspondientes los que están siendo cuantificados existencialmente, también lo es su número concreto. O sea que lo que queda indeterminado no es sólo la naturaleza particular de los parámetros, sino también el número de los mismos que es necesario para abordar una sistema mecánico concreto. Todos estos cuantificadores existenciales se hallan implícitamente ocultos en ese enunciado de apariencia tan simple como es " $F = m \cdot a$ ".

Ahora bien, es un hecho lógico bien conocido que cuantos más cuantificadores existenciales se introduzcan en un enunciado empírico, más difícil resultará encontrar contraejemplos capaces de refutar ese enunciado. Está claro que es menos arriesgado afirmar: "Existen algunas personas con tres piernas en algún lugar", que eliminar esos cuantificadores existenciales especificando el nombre de dichas personas y el lugar donde viven.

En consecuencia, al introducir tantos cuantificadores existenciales, el Segundo Principio de Newton resulta prácticamente imposible de refutar mediante cualquier confrontación directa con determinadas observaciones y experimentos. Con otras palabras, el principio resulta inmune a cualquier experiencia negativa.

Esta característica del Segundo Principio de Newton concuerda perfectamente con el cuadro general de los principios paradigmáticos que constituyen una matriz disciplinaria, según lo ha descrito Kuhn. Ellos no están destinados, como advierte Kuhn, a ser directamente confrontados con la experiencia. Tan sólo son principios esquemáticos para los que no podemos concebir contraejemplos, y de hecho, ningún practicante de la teoría se esfuerza por descubrir contraejemplos a tales principios. Ellos sólo son abandonados cuando surge un nuevo paradigma capaz de sustituir el antiguo. Este aspecto de la metodología de las teorías avanzadas, señalado por Kuhn, fue en su momento considerado por muchos de sus críticos como un aspecto irracional que Kuhn le atribuía a la empresa científica. Sin embargo, por lo menos en el presente caso de la mecánica newtoniana, el análisis propuesto nos permite comprender que existe una razón perfectamente lógica para esa inmunidad casi completa de los principios básicos.

La extrema multivocidad, y por tanto indeterminación empírica del Segundo Principio, resultante del gran número y de la gran complejidad de los cuantificadores existenciales involucrados, también se relaciona con otro aspecto descrito por Kuhn en

términos intuitivos. En efecto, Kuhn sostiene que una revolución científica, o sea, la creación de un nuevo marco conceptual se pone en marcha más al modo de una *promesa* que como la postulación de resultados empíricos concretos. Se nos hace la promesa de que, si adoptamos el nuevo esquema general, a mediano o largo plazo acabaremos por obtener los resultados empíricos concretos que apetecemos. Al comienzo, esta promesa es bastante vaga e indeterminada. Pero por esta misma razón, ella resulta útil para los científicos que, a partir de ahora, se dedicarán a la tarea que Kuhn denomina "resolución de rompecabezas". Esta tarea, que consiste en la persecución tenaz de aplicaciones y resultados concretos, sólo puede iniciarse una vez establecido el principio esquemático conductor.

Y este fue, en efecto, el papel desempeñado por el principio de Newton durante más de doscientos años. Se trataba de la promesa de que, si se proporcionaran los parámetros apropiados y las relaciones funcionales adecuadas entre ellos, se acabaría obteniendo una ecuación dinámica para cada situación mecánica específica. Esta promesa orientó el trabajo de los científicos durante dos siglos en la práctica de un modo que le había sido imposible ofrecer al marco general cartesiano para la mecánica: el marco newtoniano indicó la manera de resolver toda clase de problemas mecánicos hasta incluir los detalles más completos.

BIBLIOGRAFÍA

- D'ALEMBERT, J.R.: *Traité de Dynamique*. París, 1743.
- HERMES, H.: "Zur Axiomatisierung der Mechanik". En: Henkin, L./Suppes, P./Tarski, A. (comps.), *The Axiomatic Method*. Amsterdam, 1959.
- HERTZ, H.: *Die Prinzipien der Mechanik*. Leipzig, 1894.
- KIRCHHOFF, G.: *Vorlesungen über Mechanik*. Leipzig, 1876.
- KUHN, Th. S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª edición. Chicago, 1970.
- LAKATOS, I.: "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programs". En: Lakatos, I./Musgrave, A. (comps.), *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge, 1970.
- LAKATOS, I.: "History of Science and its Rational Reconstructions". *Boston Studies in the Philosophy of Science*, t. VIII, 1971.
- MACH, E.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Praga, 1883.
- MOULINES, C. U.: *Exploraciones metacientíficas*. Madrid, 1982.
- NEWTON, I.: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (comp. por A. Koyré/I.B. Cohen). Cambridge, Massachussets, 1972.
- SIMON, H.: "The Axioms of Newtonian Mechanics". *Philosophical Magazine*, p.38, 1947.