

La proyección matemática de la ciencia moderna

JUAN MANUEL JARAMILLO URIBE

Maestría en Filosofía
Universidad de Caldas

RESUMEN

La proyección matemática de la naturaleza, al igual que el uso del razonamiento hipotético-deductivo y del recurso experimental, constituyen tres de los rasgos más distintivos de la ciencia moderna y, en particular, de la física matemática. En este trabajo se examinan estos tres rasgos y, de manera especial, el de la proyección matemática que, gracias a la adopción por parte de la ciencia de un lenguaje cuantitativo de magnitudes o funciones métricas—diferente de los lenguajes clasificatorios y comparativos hasta entonces utilizados—, hizo posible convertir la realidad abstracta en el verdadero objetivo del conocimiento. Tal proyección impone como exigencia la determinación exacta de las magnitudes mediante cálculo y experimento, de tal suerte que la física no es matemática porque haga uso de una determinada matemática, u. gr., el cálculo, sino porque la proyección matemática así lo exige. Igualmente, se examinan las consecuencias que sobre la racionalidad científica tuvieron y siguen teniendo los éxitos—tanto teóricos, como técnicos y tecnológicos— de la llamada “ciencia moderna”, al igual que algunas de sus posibles limitaciones.

ABSTRACT

The mathematical projection of nature, together with the use of hypothetic-deductive reasoning and of experimental resource, constitute three of the most distinctive features of modern science and, in particular, of mathematical physics. In this work, the three of these features are examined, but mainly that of mathematical projection which, because of the adoption of a quantitative language and of magnitudes or metrical functions by science—different from the classifying and



Discusiones Filosóficas
Departamento de Filosofía
Universidad de Caldas

No. 2 Julio-Diciembre de 2000

comparative languages so far used— made the turning of abstract reality into the real object of knowledge possible. Such a projection demands an exact determination of the magnitudes by means of calculation and experiment, so that physics is not mathematical because it makes use of a certain mathematics, e.g. calculus, but because the mathematical projection demands so. In the same way, the consequences that have had and are still having success—both theoretic, and technical and technological— of the so-called “modern science”, as well as some of their possible limitations, are inspected.

Que Dios nos guarde de ver con un solo ojo y de dormir con el sueño de Newton.

William Blake

Entre los fenómenos más significativos de lo que se ha dado en llamar la “Época Moderna” figura, sin lugar a dudas, la ciencia. Su aparición data del siglo XVII, gracias a los decisivos y trascendentales aportes de esclarecidos pensadores como Descartes, Galileo, Kepler, Newton, entre muchos otros. Ella, mediante la introducción de una imagen de una naturaleza autómatas cuyo comportamiento está regido por leyes deterministas de carácter matemático accesibles al hombre, buscó satisfacer —y a fe que lo hizo— la doble necesidad, teórica y práctica, que anima a la razón humana, vale decir, la necesidad de dar una explicación, lo más racional y satisfactoria posible, a algunos de los interrogantes que suscita la relación del hombre con la naturaleza y,

al mismo tiempo, gracias a ese conocimiento, poder ejercer un control y un dominio sobre ella. Su promoción al rango de ciencia, tal como hoy en día entendemos este término, estuvo acompañada de un profundo cambio en la forma de *ver* e *interrogar* la naturaleza. La reflexión filosófica nos obliga a preguntarnos por el tipo de concepción de lo existente, vale decir, de la naturaleza y de lo natural que, como fundamento metafísico, hizo posible la ciencia y, de ese modo, acceder a un conocimiento cabal de aquello que originalmente nombramos como “Época Moderna”.

La pregunta por el tipo de concepción de lo existente que subyace a la ciencia moderna no es una pregunta empírica, sino *conceptual*, esto es, filosófica. Pretender darle una respuesta a través de las mismas ciencias experimentales sería tan erróneo, como creer que la filosofía, con sus formas peculiares de razonamiento, puede competir con dichas ciencias en su propio terreno. No se trata de probar o refutar la existencia de un mundo externo como dramáticamente pretendió G.E. Moore en 1939 en una conferencia en la Academia Británica cuando levantando las manos, una después de otra, exclamó: “Aquí hay una mano y aquí hay otra; por lo tanto, al menos existen dos objetos externos; en consecuencia, existe el mundo externo”, pues tal “demostración” ostensiva no es, en sentido estricto, una prueba experimental, al menos en la forma como más adelante trataremos el asunto de “lo experimental”; tal exhibición, a lo sumo, “probaría” que

existen dos manos –las de Moore– pero de ahí no se infiere que exista el mundo externo, ya que éste comprende tanto esas dos manos como algo más. En palabras del filósofo británico Peter Winch: “[...] el problema, en filosofía, no es probar o refutar la existencia de un mundo de objetos externos, sino más bien *elucidar el concepto de externalidad*”.¹

Hablar de un “fundamento metafísico”, algo inusual e intempestivo en estos tiempos, evoca la figura del filósofo Immanuel Kant, quien en su obra *Principios Metafísicos de la Ciencia Natural* –cuya publicación con una intención polémica se hizo en 1786, exactamente cien años después de que Isaac Newton publicara sus *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*–, afirma que la ciencia de la naturaleza antes que tener un fundamento (*Grund*) matemático posee un fundamento metafísico, es decir, que los *Principia Mathematica* de Newton *presuponen* necesariamente los *Principia Metaphysica* de Kant, a no ser –como lo desarrollaremos más adelante– que “lo matemático” de los *Principia Mathematica* se interprete en el sentido originariamente griego de los *ta mathemata* y no en el sentido restringido y derivado de “lo matemático” como sinónimo de lo numérico, tal como lo propone Martín Heidegger. Para Kant la matemática es un constituyente necesario de la física o filosofía

natural, como se le designaba en aquel entonces, pero el acto de construcción que le es inherente sólo es posible sobre la base de conceptos y principios proporcionados por la metafísica.² Para él, la filosofía y la matemática constituyen formas acabadas de conocimiento racional; su diferencia estriba en que la primera se interesa únicamente por el *análisis y clarificación* de los conceptos sin valerse de nada distinto de ellos mismos –una suerte de precursor de la filosofía analítica contemporánea–; la segunda, en cambio, se ocupa de la *construcción* de los conceptos, ésto es, de la asignación de la intuición pura *a priori* que les corresponde; para los conceptos de la geometría, la intuición pura *a priori* del espacio; para los conceptos de la aritmética y el cálculo, la intuición pura *a priori* del tiempo. Destaca con claridad que “todos los filósofos de la naturaleza [se refiere a los físicos] que han querido proceder matemáticamente en sus trabajos han hecho siempre uso (aunque inconscientemente) de principios metafísicos y han tenido que servirse de ellos aún cuando protesten solemnemente contra toda pretensión de la metafísica sobre su ciencia”.³ Su convicción es que “los físicos matemáticos no pueden prescindir [...] de principios metafísicos, ni entre éstos, de los principios que hacen el concepto de su propio objeto, a saber, la materia, susceptible de aplicación *a priori*

¹ WINCH, Peter. *Ciencia social y filosofía*. Buenos Aires: Amorrortu editores, 1972; pp. 16-7.

² Es conveniente recordar que Kant es uno de los precursores del intuicionismo moderno en matemáticas.

³ KANT, Immanuel. *Principios Metafísicos de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Editorial, 1989; p. 33.

a la experiencia externa (como en los casos de los conceptos de movimiento, espacio lleno, inercia, etc.)”.⁴

Newton, a diferencia de Kant, consideraba que los principios fundamentales de su ciencia eran principios matemáticos y que su origen –al igual que el de los conceptos de su teoría– era la experiencia. Dos siglos después, Albert Einstein, –sin dejar de reconocer que fue Newton el primero en crear “un sistema comprensivo y valedero de física teórica”–,⁵ mostrará cuán errónea resulta la convicción newtoniana de creer que los conceptos y las leyes de base de su física podían ser derivados de la experiencia; la famosa

sentencia newtoniana “*hypotheses non fingo*” –en opinión del creador de la teoría de la relatividad–,⁶ no puede interpretarse de otra manera.

Es sabido que muchos de los contemporáneos de Newton no se sentían completamente cómodos ante conceptos como el de “espacio absoluto” que implicaba el de “reposo absoluto” y al que en la experiencia nada podía corresponder, ni frente a conceptos como el de “fuerza” que, desde el momento mismo de cristalización de la mecánica y, debido a su asociación con el de “acción a distancia”, fue visto con suspicacia e incluso repugnancia por algunas de las

⁴ Ibid., p. 34. Kant, en esta obra, –haciendo uso del método regresivo y/o analítico propio de la filosofía trascendental (Cf. *Prolegómenos*, #6, nota)–, parte de de lo *dado*, a saber, el concepto empírico de materia como “lo movible en el espacio” (Foronomía, Enunciado 1) para, desde allí, “ascender” a sus condiciones de posibilidad, como condiciones necesarias de posibilidad y, de esa manera, proporcionarnos el concepto metafísico *a priori* de materia como “todo objeto del sentido externo” (Foronomía, Observación 2). En este último caso, a diferencia del primero, la materia no se explica a partir de la propiedad empírica de la movilidad, como propiedad o determinación empírica del objeto, sino a partir de su relación con una facultad cognoscitiva (la sensibilidad) tal como se desprende de la definición de la categoría modal de “realidad” o “existencia” que aparece en la *Crítica de la Razón Pura* (Postulados del pensar empírico en general): “Lo que se halla en interdependencia con las condiciones materiales de la experiencia (de la sensación) es *real*” (A 218/B 266).

⁵ EINSTEIN, Albert. “La teoría y la experiencia”, En: BLANCHE, Robert. *El método experimental y la filosofía de la física*. México: F.C.E., 1972, p. 419.

⁶ Cf. Ibid., p. 423. La sentencia “*hypotheses non fingo*” que aparece en el *Scholium Generale* de los *Principia* de Newton ha sido objeto de las más equívocas interpretaciones y ha hecho surgir una imagen ahistórica de la metodología newtoniana que, hasta nuestros días, sigue siendo aceptada por muchos. Tal imagen es la de un Newton que sólo se preocupa por los hechos experimentales y que niega la posibilidad de formular hipótesis generales. Nada más equivocado. En los *Principia* y en muchos otros escritos como *De motu corporum* (1684) aparecen varias *hypotheses* que tienen el carácter de leyes generales. La sentencia del *Scholium Generale* tiene que ver con la discusión del concepto de “gravitación” y con la exigencia de sus críticos (Leibniz y Huygens) de dar una explicación causal de ella, y no con la discusión de la *ley de gravitación* que –como dice Newton– sus críticos tenían que aceptar por estar apoyada en observaciones empíricas y en cálculos exactos. La respuesta de Newton a sus críticos –y ese es el sentido de la sentencia– es la de que él desconoce la causa de la gravitación y mal haría en inventarse una hipótesis ficticia (Cf. MOULINES, Carlos Ulises. *Exploraciones metacientíficas*. Madrid: Alianza Universidad, 1982; pp. 267ss.).

mentes más preclaras de ese entonces como Huygens, Berkeley y Leibniz.⁷ Sin embargo, estas incomodidades no fueron argumento para que Newton abandonara su convicción —expresada en los *Principia* y reafirmada en la *Optica*— de que todos los conceptos de sus teorías y las leyes que los enlazan son generalizaciones de la experiencia. Será la teoría general de la relatividad la que le indicará a Einstein cuán equivocado resulta el inductivismo newtoniano que, en la conocida Regla IV de los *Principia*, alcanza una de sus expresiones más acabadas: “En la filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzcan otros fenómenos capaces de hacer más precisas esas proposiciones o sujetas a excepciones”.⁸ Aquí, una vez más, es preciso aclarar que el concepto de “inducción” newtoniano es mucho más amplio que el concepto actual de “inducción”, pues el primero no se refiere exclusivamente a que propie-

dades observadas en un conjunto de objetos de un determinado dominio se puedan inferir para todos los objetos de ese dominio, sino que observaciones hechas en *un* dominio se puedan inferir a *otro* dominio, distinto del primero, pero *análogo* con éste, como sería el caso de la ley de gravitación universal donde, haciendo uso del argumento por analogía, Newton logró la unificación de la física terrestre galileana con la física celeste kepleriana.

A Einstein, —nos dice Blanché— la teoría de la relatividad general le hizo ver que era posible, “partiendo de principios de base muy alejados de los de Newton, justificar la totalidad de los datos de la experiencia de una manera aún más completa y más satisfactoria que la que permitían los principios de Newton”.⁹ La teoría general de la relatividad reafirmó en Einstein la “certeza de que el ideal de simplicidad matemática que guía a la ciencia moderna se encuentra realizado en la naturaleza”.¹⁰ Estoy convencido —dijo— “que la construcción puramente

⁷ Hay que indicar que no sólo en el momento de cristalización de la mecánica, sino más tarde, el concepto newtoniano de ‘fuerza’ siguió siendo considerado sospechoso. D’Alambert reconocerá en su *Traité de Dynamique* (1743) que la principal “oscuridad metafísica” del sistema newtoniano es el concepto de ‘fuerza’ y, con él, el segundo principio. Kirchoff, Mach y Hertz, en la segunda mitad del siglo XIX, realizarán ingentes esfuerzos por reducir la dinámica a la cinemática y, de esa manera, “eliminar” el concepto de ‘fuerza’, ¡sueño de los positivistas y neopositivistas! Otros como H. Simon, por ejemplo, sostendrán que la ‘fuerza’ no es sino una abreviación de masa por aceleración y que, en consecuencia, el segundo principio es sólo una tautología.

⁸ NEWTON, Isaac. *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*. Madrid: Editora Nacional, 1982, p. 659.

⁹ BLANCHÉ, Robert. Op. cit., pp. 422-23.

¹⁰ *Ibid.*, p. 423.

matemática nos permite descubrir los conceptos y las leyes que los enlazan, los cuales nos dan la clave para comprender los fenómenos de la naturaleza. *La experiencia puede, sin duda, guiarnos en nuestra elección de los conceptos matemáticos que vamos a utilizar, pero no es posible que sea la fuente de donde se desprendan*".¹¹

Cuando se habla de la "ciencia moderna", se impone la necesidad de diferenciarla de la *episteme* griega y de la *doctrina* y *scientia* medieval. Se podría pensar que ellas tienen rasgos esenciales comunes, pero —como lo desarrollaremos en este trabajo— la semejanza o, en forma más extrema, la identidad, son sólo aparentes. Es un hecho que los antiguos griegos, al igual que los científicos modernos, practicaron observaciones, algunas de ellas con una precisión admirable como lo atestigua su astronomía. Sin embargo, no podemos afirmar que su "ciencia", por el simple hecho de remitirse a la experiencia sensible, sea ya una aplicación *avant la lettre* del método experimental moderno. Los griegos, con excepción de Arquímedes, no practicaron el método experimental, al menos de manera sistemática. En la Edad Media, la mayor parte de las observaciones físicas estuvieron mediadas por la doctrina de Aristóteles, de tal manera que se rechazaba todo aquello que no se ajustara a ella o que pareciera invalidarla. Adicionalmente, en ninguno de los dos

casos —con excepción nuevamente de Arquímedes— se llevó a cabo una matematización de la experiencia que hubiera llevado a aplicar la matemática en ella. Una matematización de la experiencia —como la que tiene lugar en la ciencia moderna— implicaba la introducción de un lenguaje cuantitativo de magnitudes o funciones métricas en el *corpus* de esta ciencia, diferente por completo de los lenguajes clasificatorios y comparativos preferencialmente utilizados hasta ese momento. El matematismo pitagórico-aristotélico, al que con frecuencia aluden los historiadores de la ciencia, degeneró en una mística de los números y el atomismo de Demócrito, reasumido por los epicúreos, si bien abrió el camino para una interpretación mecanicista de la naturaleza, descuidó por completo el aparato matemático. Lo que encontramos en las "ciencias" griega y medieval es, por el contrario, un fuerte rechazo a la posibilidad de aplicación de la matemática en la experiencia. Para Aristóteles y para quienes como él defendían el modelo cualitativo (biológico) de causalidad final frente al modelo cuantitativo (matemático) de Arquímedes, constituía un error categorial pretender aplicar la matemática en la experiencia. Como lo señala en *De Coelo*, no existe coincidencia alguna entre lo que las matemáticas dicen y lo que la realidad es; la matemática —en cuanto ciencia teórica especulativa— sólo trata de seres permanentes e

inmutables, más no de seres dependientes de la materia como son todos los cuerpos físicos; el mundo matemático no es el mundo que percibimos, sino un mundo ideal.¹²

La ciencia moderna introduce un método de aproximación a la experiencia distinto y radicalmente opuesto a los métodos hasta entonces utilizados. Los rasgos más sobresalientes —ninguno de los cuales es completamente nuevo en sí mismo, pero cuya unión los convierte en algo original— son:

- a) La *proyección matemática* de la experiencia que implica apelar a una determinada matemática.
- b) El uso del *razonamiento hipotético-deductivo*.
- c) El *recurso a la experimentación*.¹³

La novedad y originalidad de este método, como forma particular de acceso a

lo real, sólo se hizo posible —como se advirtió anteriormente— sobre la base de una *comprensión* distinta de *lo existente*, ésto es, de *lo natural* y de *la naturaleza* que, de antemano, determinó y condicionó una forma correlativamente diferente de *interpretación* de los procesos naturales. El acceso a esta forma de *comprensión de lo existente* sólo se logra mediante la identificación del sistema conceptual básico de las teorías que, elaborado previamente, permite, por vía de interpretación, reconstruir el dominio de objetos propio de ellas. Los miembros de ese sistema son los llamados “conceptos fundamentales” o “primitivos”, diferentes de los conceptos de la lógica y de la matemática que constituyen, por así decirlo, el armazón formal de las teorías; el lenguaje mediante el cual hablamos sobre las entidades que realmente nos interesan.¹⁴ Tal “dominio de objetos” es el campo de aplicación legítimo de la teo-

¹² Hans-Georg Gadamer en el *Elogio de la teoría* nos recuerda que los griegos utilizaban la palabra griega *mathemata* para destacar el papel paradigmático de la matemática. Platón, por ejemplo, consideraba que el verdadero saber sobre el cielo, la verdadera astronomía, no descansaba en la observación de las estrellas y sus movimientos, sino en las matemáticas puras y en las relaciones numéricas. El imperativo de los condicionamientos y de las deducciones, es decir, la lógica de la prueba, la *apodeixis*, es lo que verdaderamente caracteriza a la *episteme* griega que encuentra en la matemática su más pura materialización.

Cf. GADAMER, Hans-Georg. *Elogio de la teoría*. Barcelona: Editorial Península, 1993; pp. 77 ss.

¹³ Cf. BLANCHÉ, R., Op. cit. pp. 22 ss.

¹⁴ La filosofía de la ciencia, cuyo desarrollo como disciplina profesional data de este siglo, ha planteado que la mejor manera de identificar una teoría es reconstruyéndola y la forma canónica de ello es la forma axiomática. Uno de los primeros estilos reconstructivos claramente identificables en la filosofía de la ciencia fue el realizado por R. Carnap en su obra *La reconstrucción lógica del mundo*. Su idea era reconstruir, paso a paso y a partir de las ‘vivencias’ (*Erlebnisse*), todos los conceptos fundamentales de las ciencias empíricas, utilizando la lógica, la teoría de conjuntos y la topología. Ante las dificultades de la anterior reconstrucción, se realizaron reconstrucciones formales, por la vía de la axiomatización formal. Esto no fue otra cosa que la extensión del programa formalista de Hilbert (metamatemático) a las ciencias empíricas. Igualmente, se propuso otro estilo de reconstrucción de

ría; éste no se encuentra estructurado de por sí de manera unívoca. Somos nosotros los que, al proyectar sobre él nuestros conceptos —los conceptos fundamentales— lo estructuramos o reconstruimos de cierta manera. Esta proyección —que en el caso de la ciencia moderna es matemática— constituye el fundamento de la interpretación y *la ciencia es interpretación*.

Dado que la semántica usual de las descripciones y de las prescripciones es insuficiente para proporcionar una definición lo más clara y precisa de la noción de “interpretación” y reconociendo que la filosofía analítica —pese a que su objetivo es, ante todo, el análisis del lenguaje— aún no ha proporcionado una elucidación formal de dicha noción y de las reglas semánticas que la rigen, echaremos mano de la caracterización tentativa e intuitiva de “interpretación” proporcionada por C.U. Moulines, según la cual se “podría “definir” una interpretación de cierto dominio de objetos de conocimiento como la “incrustación” en este dominio, de modo consciente y deliberado, de un aparato conceptual ela-

borado previamente que nos permite “reconstruir” ese dominio (o mejor dicho, ciertos aspectos del mismo)”.¹⁵

Pensar que “la realidad” o “el mundo”, como diría Wittgenstein —constituido en parte por hechos y, en parte, por estados de cosas posibles o no realizados— se estructura previamente a todo lenguaje, se ha convertido, en el decir de W. Stegmüller, en “una de las ficciones explícita o tácitamente más caras a muchos filósofos”.¹⁶ Para este importante filósofo de la ciencia, “El mundo no se compone de hechos o tan siquiera de estados de cosas meramente posibles de un modo independiente del lenguaje. *La constitución de la realidad en estados de cosas y hechos es relativa —no a una conciencia pensante, a un sujeto trascendental, sino —al lenguaje que describa esa realidad*”.¹⁷ Es conveniente aclarar que, en el caso de las ciencias, lo que se nombra como “la realidad” o “el mundo” es algo previamente acotado por éstas. En otras palabras, la ciencias, pese a lo que muchos piensan, no tienen como su campo de aplicación un *único* modelo —un modelo cósmico— que comprendería la to-

los conceptos y teorías a partir de nociones directamente interpretables como operaciones de laboratorio que se conoce como el ‘operacionalismo’. Finalmente, apareció otro estilo de reconstrucción de las teorías que es el que se conoce como ‘programa estructuralista’. Este programa propone la identificación y/o interpretación de las teorías mediante la definición de un predicado teórico-conjuntista. Para ello, utiliza como herramienta la teoría informal de conjuntos. Apela a este lenguaje abstracto, pues si el objeto de descripción son las estructuras que corresponden a cada uno de los sistemas que constituyen el campo de aplicación de las teorías y éstas (las estructuras) son abstractas, el lenguaje debe ser abstracto.

¹⁵ MOULINES, Carlos Ulises. Op. cit., pp. 44-45.

¹⁶ STEGMÜLLER, Wolfgang. *Teoría y experiencia*. Barcelona: Editorial Ariel, 1972; p. 29.

¹⁷ *Ibid.*, p. 30 (Las cursivas son nuestras).

talidad del universo y del espacio-tiempo. Lo que la historia de la ciencia nos enseña es que las teorías científicas se aplican a sistemas parciales bien delimitados. La única excepción a esto la constituirían las teorías cosmológicas, pero todas las demás teorías científicas tienen modelos restringidos de los que el modelo cósmico sería un caso límite. Dentro de esos modelos restringidos, algunos de ellos constituyen aplicaciones especiales de la teoría que sirven de ejemplos paradigmáticos para el uso de ella en otros casos distintos, tal como lo propone Th. S. Kuhn. De todas formas, y por efectos de simplicidad —sin desconocer los riesgos que ello implica— en este trabajo seguiremos hablando de “la realidad”, “el mundo”, “la experiencia”, “lo existente”, etc.

Para Heidegger, “la grandeza y superioridad de la ciencia natural del siglo XVI y XVII reside en que los investigadores eran todos filósofos. Ellos sabían que no hay meros hechos, sino que un hecho sólo lo es a la luz de un concepto fundamentador y según el alcance de tal fundamentación”.¹⁸ En el caso de la ciencia moderna —como ya se indicó— los conceptos fundamentadores que se utilizan son conceptos cuantitativos o

magnitudes o funciones métricas que, a diferencia de los conceptos clasificatorios y comparativos, no tienen correspondencia en el lenguaje ordinario; ellos son una creación de los lenguajes científicos. Mediante ellos interpretamos o reconstruimos “la realidad”, o ciertos aspectos de la misma. Dichos conceptos —en cuanto funciones métricas— asignan números reales o vectores a objetos o sucesos.¹⁹

Cuando hablamos del “lenguaje cuantitativo” para caracterizar el lenguaje utilizado en la ciencia moderna, la palabra “lenguaje” no está usada, ni en su sentido cotidiano ni en el sentido lingüístico, como cuando se habla del español, del inglés, etc. El uso que aquí le damos coincide con el que hoy en día se le da en la filosofía de la ciencia y en algunos trabajos de fundamentación lógico-matemáticos. En estos contextos es corriente hablar del “lenguaje de la teoría de tipos”, del “lenguaje numérico”, del “lenguaje de la física”, etc. A estos lenguajes, concebidos como lenguajes interpretados y no como meros cálculos sin interpretación —como ocurre en la propuesta axiomático formalista inspirada en el programa de D. Hilbert— van asociados sistemas conceptuales determinados.

¹⁸ HEIDEGGER, Martin. *La pregunta por la cosa*. Buenos Aires: Ed. Sur, 1964, p. 68.

¹⁹ En el caso de Newton —como un caso especial de lo que se conoce como “la mecánica clásica de partículas”, los conceptos fundamentales —o “fundamentadores” como diría Heidegger— son los de “partícula”, “espacio” o “posición”, “tiempo”, “fuerza” y “masa”. A conceptos como el de “masa” o “tiempo” que, como funciones, asignan números reales a determinados objetos o sucesos se les llama “magnitudes escalares”. A conceptos como “fuerza” o “velocidad” que, como funciones, asignan vectores, se les llama “magnitudes vectoriales”.

En ese sentido, aunque en forma genérica hablamos del lenguaje de la física como de un lenguaje “cuantitativo”, lo que se quiere especificar es el sistema conceptual asociado a ella. Estos sistemas conceptuales -como sistemas de constitución de “la realidad”- son los que nos permiten hablar de “la física clásica”, de “física cuántica”, de “la física relativista”, etc. Autores como Kuhn y Feyerabend han desarrollado -con base en las diferencias semánticas de dichos sistemas-, la célebre y controversial teoría de la “inconmensurabilidad”.

Otra de las ficciones más socorridas por filósofos y científicos -ligada estrechamente a la anterior- es la que considera que la diferencia entre las descripciones cuantitativas y cualitativas del mundo es una diferencia *en la realidad* -ontológica- y no *en el lenguaje*. Galileo no escapó a esta ficción al considerar -como lo dice en una carta a Fortunio Liceti de enero de 1641- que el mundo estaba escrito en caracteres matemáticos -triángulos, cuadrados, esferas, conos, etc.- diferentes a los de nuestro alfabeto y que, en consecuencia, “no podía ser leído por todo el mundo”. Sin embargo, “el mundo” o “la realidad” -a pesar de lo expresado por Galileo- no está escrito en caracteres matemáticos; somos nosotros los que al *proyectar* sobre él un lenguaje cuantitativo hacemos que “la realidad” se nos descubra como cuantitativa.

La adopción por parte de la ciencia moderna de un lenguaje de magnitudes tuvo para su desarrollo consecuencias muy

positivas. Primero, hizo que la formulación de las hipótesis y de las leyes resultara más precisa, económica y simple.

Segundo, incrementó su capacidad heurística al permitir el descubrimiento de otras hipótesis o leyes. Tercero, facilitó que las respuestas a muchos de los interrogantes se pudieran lograr al hacer que la representación de los procesos físicos fuera abstracta o matemática, gracias a la utilización de instrumentos como el cálculo diferencial e integral, el cálculo vectorial o tensorial, la teoría de probabilidades, etc.

En contraste con las cualidades sensibles -que tanto para el físico aristotélico y medieval, como para el sentido común, constituían la materia misma de lo real- las cantidades abstractas pasaron a convertirse en las cualidades primeras y reales de las cosas.

Descartes, por ejemplo, reduce la materia a la *extensión* y postula que en la naturaleza todo se hace por figura y movimiento. Galileo declarará en el *Saggiatore* que lo negro, lo dulce, lo caliente, lo amargo, lo húmedo, lo seco, cualidades sobre las cuales se fundó la ciencia antigua, no son más que nombres que imponemos a las cosas que provocan en nosotros ciertas sensaciones; sólo la figura, la magnitud, el movimiento y el reposo son las primeras y reales cualidades de las cosas.

En suma, se trata de diferenciar en “lo existente” aquello que, resistiendo a la

fantasía, constituye el *punto de partida* necesario del conocimiento empírico, a saber: la realidad perceptible y “concreta”, de lo que, trascendiendo la percepción, es, a partir del siglo XVII, el verdadero *objetivo* del conocimiento científico: la realidad abstracta. Conviene aclarar, sin embargo, que si bien “la realidad” –objeto de investigación en la ciencia moderna– no es una realidad *concreta*, tampoco podemos afirmar que su grado de abstracción sea el que corresponde a lo que hoy en día conocemos como “estructura”, como cuando hablamos de “la estructura del átomo de hidrógeno” o de “la estructura hexagonal de los panales de las abejas” o de “la estructura de los sistemas llamados termodinámicos”.

Si bien en la lógica matemática muchos autores utilizan la palabra “estructura” como sinónimo de “sistema”, creemos conveniente diferenciarlos, empleando la

palabra “estructura” para caracterizar ciertos rasgos –más o menos formales– comunes a varios sistemas; los sistemas serían algo así como “lo concreto”.

La estructura, algo abstracto, requiere para su descripción –objetivo fundamental de las ciencias– hacer uso de un lenguaje que, como lenguaje formal no interpretado, trascienda incluso el lenguaje de magnitudes como lenguaje interpretado. Este nuevo lenguaje no estaría constituido por conceptos, sino por signos o variables no interpretados. Jesús Mosterín, para diferenciarlos de los conceptos, los designa con el neologismo de “conceptores”.

Definir la estructura es, en esta nueva propuesta, formular la teoría.²⁰ En el caso de la ciencia moderna del siglo XVII, podemos afirmar que las teorías allí propuestas tienen el carácter de “teorías concretas” y no de “teorías abstractas”, toda

²⁰ Con el surgimiento de las geometrías no-euclidianas, los *Elementos* de Euclides se convirtieron en un objeto particular de análisis a finales del siglo XIX, encontrándose numerosas lagunas en su formulación. Dichas lagunas fueron en parte llenadas con la publicación en 1882 de la primera axiomatización lógicamente satisfactoria de Moritz Pasch, al tiempo que diversos matemáticos italianos como Pieri, Veronese y Peano propugnaron por una concepción más abstracta del método axiomático. Con la publicación de *Los fundamentos de la Geometría* (1899) de David Hilbert, método axiomático –en contraposición al propuesto por G. Frege– alcanza su madurez. Entre muchos de los aportes de este destacado matemático está el haber establecido que la geometría es una teoría abstracta y que su objeto de descripción no es el espacio físico y sus propiedades –como pensaba Euclides–, ni la intuición pura *a priori* del sujeto –como pensaba Kant–, sino la estructura abstracta del espacio euclídeo. Mosterín extiende este interesante hallazgo hilbertiano, para establecer que formular una teoría y describir una estructura son equivalentes. Así, la mecánica newtoniana, por ejemplo, describe la estructura –lo común– a sistemas como los péndulos, las mareas, las lunas de Júpiter, etc. En este sentido, afirma el profesor español, “toda teoría es matemática”, pues “la matemática suele definirse como la ciencia de las estructuras” (MOSTERIN, Jesús. *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial, 1984; pp. 144-45).

vez que su *objetivo* no son las estructuras sino los sistemas, v. gr., las mareas, los péndulos, los choques de bolas de billar, etc. Sin embargo, la proyección matemática hace que estos sistemas no sean tampoco sistemas concretos, como sí acontece en la física antigua. Siguiendo a Bachelard, diríamos que la ciencia moderna se encuentra en un estadio intermedio entre lo concreto y lo abstracto: el estadio de lo “concreto-abstracto”.

En términos generales, podemos afirmar que la re-presentación de la naturaleza dominante en Occidente hasta el siglo XVII estuvo marcada por los conceptos y principios que Aristóteles había elaborado en su curso de física y que fueron adoptados por la escolástica medioeval. Dentro de esta concepción, la *naturaleza* se concibió como el conjunto de las cosas con sus cualidades; las cosas entendidas como *physiká* y como *poioumena*, es decir, como algo que surge y brota por sí mismo y como algo que se produce y elabora, respectivamente. En correspondencia con esta doble significación, existían dos tipos de saber (*episteme*): el saber de lo que surge a partir de sí mismo y el saber de lo producido.

En la determinación axiomática del proyecto matemático que instaura la física en el siglo XVII y cuya máxima clarificación y sistematización se alcanza en los *Principia* de Newton, la *naturaleza* se proyecta como un conjunto abstracto e idealizado de masas puntuales relaciona-

das espacio-temporalmente y en movimiento. Esta proyección abstracta que B. Cohen califica como “el estilo newtoniano de los *Principia*”, permite –como se indicó atrás– que los problemas del mundo real tengan, en el mundo abstracto de las matemáticas, una solución más precisa y transparente. De todas maneras, esa realidad, producto de la proyección matemática, es, paradójicamente, una “realidad irreal”, en el sentido de no ser objeto de la experiencia perceptual inmediata. Las masas puntuales, los movimientos uniformes y el sinnúmero de situaciones a las que, principalmente Galileo y Newton hacen referencia, son idealizaciones y, como tales, no son perceptibles. Sin embargo, en el caso de Newton, si bien existe una simplificación e idealización excesiva de la realidad en los dos primeros libros de los *Principia*, a medida que el autor avanza en su exposición se va presentando un proceso de complejidad creciente por la introducción gradual de hipótesis y de condiciones antecedentes que hacen que, problemas que originalmente tienen un tratamiento estrictamente matemático, se conviertan en problemas empíricos, en el sentido de problemas astronómicos reales, como sucede en el Libro III titulado “El sistema del mundo (tratado matemáticamente)”.

El riguroso tratamiento y explicación matemática de los problemas hizo que los *Principia* de Newton se convirtieran en una obra paradigmática. Sin embargo, la influencia del empirismo –como

aconteció con R. Boyle—llevó a muchos científicos y filósofos a pensar que dicha teoría—por su esquematismo y simplicidad—no era capaz de dar cuenta de la riqueza y diversidad de los nuevos hechos de la experiencia que la ciencia continuamente está descubriendo.

Si bien es cierto que en lo concerniente a la física galileana el razonamiento matemático tiene mayor peso que la apelación directa a los hechos—lo que ha llevado a que historiadores de la ciencia como A. Koyré exageren en Galileo el papel de los “experimentos en el pensamiento”—, en el terreno de la astronomía descriptiva, la utilización del telescopio en la observación del cielo constituyó el primer golpe serio dado a la cosmología y a la física aristotélicas. La ciencia moderna nace y se desarrolla en *oposición a*, y en *lucha contra*, la de Aristóteles. Sin embargo, haciendo las veces de abogado del diablo, podemos sostener—siguiendo a A. Koyré—que muchas de las tesis aristotélicas, en particular, las del movimiento circular, las del movimiento espontáneo y la de la finitud del universo no son hoy tan ridículas como a primera vista podría pensarse. Dice Koyré: “Aristóteles tenía mucha más razón de la que él mismo sabía. Después de todo, el movimiento circular parece efectivamente estar particularmente extendido en el mundo y ser particularmente importante: por lo

que parece todo gira y da vueltas, las galaxias y las nebulosas, los soles y los planetas, los átomos y los electrones [...] no parece que los propios fotones constituyan una excepción a la regla. En cuanto al movimiento espontáneo del cuerpo, sabemos desde Einstein que una curvatura local del espacio puede producir movimientos de esta clase; sabemos también, o creemos saber, que nuestro Universo no es de ningún modo infinito, aunque no tenga límites [...] y que fuera de este Universo no hay rigurosamente nada, precisamente porque no hay “fuera” y todo espacio está “dentro”.²¹

Aún aceptando que todo lo anterior parece darle la razón al estagirita, hay que decir que la principal debilidad de la concepción aristotélica es la de no ser una concepción matemática. Como ya se indicó, para él no era el razonamiento matemático, el razonamiento geométrico, el fundamento último de la ciencia verdadera de lo real, sino la percepción y experiencia concretas. Esta posición contrasta con la de Platón, quien “había tratado de entrelazar la idea del cosmos con una tentativa de construir el mundo del espacio puro... plena y enteramente geometrizado”.²² Estas dos posiciones se plantearán como dilema en el siglo XVI: o se escoge la propuesta aristotélica de una realidad perceptual concreta, o se opta—como lo hizo Descartes—por

²¹ KOYRÉ, Alexandre. *Pensar la ciencia*. Buenos Aires: Ediciones Paidós, 1994; p. 55.

²² *Ibid.*, p. 57.

una realidad abstracta, geometrizada, donde las cosas quedan reducidas a la extensión. Hay que decir que la decisión por lo segundo no era fácil, toda vez que la concepción aristotélica tenía a su favor el hecho de que, por estar fundada en la percepción, estaba más cerca de la experiencia común; los cuerpos pesados, al fin y al cabo, caen *naturalmente* hacia abajo y los livianos (como el fuego) apuntan *naturalmente* hacia arriba; el sol y la luna se levantan y se ponen; el movimiento inercial no es un hecho de experiencia, etc.

En efecto, el principio de inercia, formulado inicialmente por Descartes y luego incorporado por Newton en los *Principia* como el primer axioma o ley del movimiento, nos habla de un cuerpo abandonado a sí mismo –*corpus quod a viribus impressis non cogitur*– que para el sentido común no existe y para el que ningún experimento puede proporcionarnos intuición alguna. Newton se limitó a indicar que este primer axioma del movimiento sólo rige en una situación puramente imaginaria o ficticia, sea en un universo que contenga un sólo un cuerpo sin campos de fuerza, o en un universo en el que los cuerpos no interactúen gravitatoriamente entre sí, vale decir, en un universo inexistente. De ahí que para que la ciencia moderna triunfara – como de hecho acaeció – fue necesario que se produjera una verdadera transformación en la actitud filosófi-

ca: replantear el valor atribuido a la experiencia sensible, por un lado, y destacar el carácter positivo de la noción de “infinito”, por otro. Este triunfo es para Koyré el “desquite de Platón”.

Heidegger, al indagar sobre la esencia del proyecto matemático de la ciencia moderna y del modo como *lo matemático* se convierte en lo determinante, pone de presente que si bien el fundamento de la ciencia moderna no es la experiencia, de ahí no se infiere que por ello no sea experimental o que sus construcciones, a la manera de la escolástica, sean invenciones conceptuales meramente dialécticas. Lo que habría que aclarar es el concepto de “experimentación” en la ciencia moderna y su diferencia con la experimentación en la denominada “ciencia antigua”.

Lo matemático, el *ta mathemata*, rasgo esencial de la ciencia moderna, es para Heidegger, “aquello de las cosas que en verdad ya conocemos; por consiguiente no es algo que extraemos de las cosas sino algo que, en cierto modo, llevamos con nosotros mismos”.²³ Al analizar el proyecto matemático de la ciencia moderna, Heidegger se detiene, de manera particular, en el análisis de la formulación que Galileo hace en su *Discorsi* del principio de inercia, con el propósito de indicarnos de qué manera *lo matemático* es allí lo determinante. La formulación galileana –precursora junto con la de

Descartes del primer principio de Newton— dice: “Concibo un cuerpo arrojado sobre un plano horizontal, excluido todo obstáculo, resultará entonces [...] que el movimiento del cuerpo sobre este plano sería uniforme y perpetuo si el plano se extendiera al infinito”. Este “concibo un cuerpo” —*mente concipere*— pone de presente que se trata, evidentemente, de una construcción que, sin ser producto de la experiencia y en ese sentido *a priori*, establece lo que debe ser uniformemente determinante para todo cuerpo sin distinguir alguno, pues, de ahora en adelante, *todos* los cuerpos, al igual los lugares y los puntos temporales son iguales. Esto es lo que se conoce como la “uniformidad de la naturaleza”. Lo uniformemente determinante para todos los cuerpos es que sus movimientos —entendidos como cambio de lugar y no como “mutación de algo en algo” como lo planteaba Aristóteles— serían, en ausencia de fuerzas, uniformes y, si el plano horizontal sobre el cual se realizaran fuera infinito, perpetuos. De este modo, el principio de inercia formulado por Galileo bajo la forma de una proposición, tiene el carácter de un principio fundamentador y por ende, axiomático, pues, en palabras de Heidegger, “Los axiomas son principios (*Grund-Sätze* = proposiciones fundamentales)”.²⁴

El carácter fundamentador del proyecto matemático moderno permite entender

en qué sentido se dice que la física moderna es matemática. Ella no es matemática porque en un sentido preferente utilice una determinada matemática, bien sea la geometría analítica, el cálculo diferencial e infinitesimal o cualquier otro instrumento de este tipo. La física matemática hace uso, o mejor, debe hacer uso de una determinada matemática porque —como dice Heidegger— “en un sentido más hondo es ya matemática”,²⁵ o como ya se expresó, porque la proyección matemática de los procesos naturales así lo exige. En la proyección matemática de la ciencia moderna los procesos naturales, —como lo indicamos atrás— se esbozan como “magnitudes de movimiento espacio-temporales”; estas magnitudes (*quanta*) imponen como exigencia la determinación, —mediante cálculo y experimento—, de su magnitud (*quantitas*), como sucede con magnitudes como velocidad, aceleración, masa, fuerza, etc. de la física clásica. De esta manera, la exactitud como exactitud en el cálculo, exactitud numérica, pasa a convertirse, por exigencia de la proyección matemática, en el *rigor* de la física. Heidegger nos dice: “la investigación de la naturaleza no es exacta porque cuente exactamente, sino que debe contar así porque la vinculación a su campo de objetos así lo exige”.²⁶ Pero este rigor exigido para la física matemática no es el rigor que necesariamente debe exigirse para todas las ciencias. El rigor de exac-

²⁴ Ibid., p. 91.

²⁵ HEIDEGGER, M. *Sendas perdidas*. Buenos Aires, Editorial Losada, S.A., 1960; p. 69.

²⁶ Ibid., p. 70.

titud sólo se exige para aquellas disciplinas donde la proyección matemática de sus objetos tiene lugar. En el caso de la historia, por ejemplo, el rigor exigido no es el de la exactitud como precisión numérica, sino el de la selección y crítica de las fuentes. Además, existen otras formas de rigor que deben acompañar a las ciencias y que no se agotan en la exactitud numérica, como la exactificación o precisión conceptual, el rigor demostrativo, argumental, etc.

Para garantizar el rigor de exactitud en la ciencia experimental moderna se hace necesario realizar cálculos matemáticos y recurrir a instrumentos concebidos *ad hoc*, que permitan, en concreto, la asignación de los valores numéricos de las funciones métricas. No basta con introducir en el vocabulario de la ciencia el lenguaje de magnitudes; es necesario que ésto vaya acompañado, en cada caso, de la explícita determinación de los procedimientos empíricos que garanticen la asignación de dichos valores. Una ciencia como la ciencia moderna que reposa sobre la determinación de las dimensiones —entendiendo por “dimensión”, como lo propone Descartes en las *Regulae*, “el modo y la manera según los cuales un sujeto es considerado mensurable”,²⁷ exige elaborar y utilizar instru-

mentos, como el *perispicillum* de Galileo, —considerado por Koyré como el primer instrumento científico que permitió acrecentar el alcance de nuestros sentidos—; el plano inclinado, la balanza de precisión, el dinamómetro, etc., muchos de los cuales permiten que, pares antitéticos de cualidades, propios de la física aristotélica, como caliente—frío, seco—húmedo, puedan, por la sustitución por magnitudes abstractas como temperatura o grado higrométrico, ser medidas de manera precisa y objetiva. Hay que decir, sin embargo, que la utilización de estos instrumentos sólo alcanza su generalización en el siglo XVIII. Es en este siglo cuando comenzó a darse la práctica de los experimentos en la enseñanza de la física.

Como es sabido, la ciencia moderna tiene dos propósitos claros: *explicación y dominio*. Para un número considerable de filósofos de la ciencia, los *Principia* de Newton constituyen el principal paradigma de explicación y predicción científicas. La leyes que propone Newton y, en particular, la segunda que, como “ley sinóptica”²⁸ constituye la *ley fundamental* de su teoría, explican hechos físicos como el movimiento de los planetas o la trayectoria de los proyectiles, dan razón de leyes previamente propuestas

²⁷ DESCARTES, R. *Reglas para la dirección de la mente*. Buenos Aires: Ed. Aguilar, 1970; p. 133.

²⁸ La caracterización de las leyes fundamentales como “leyes sinópticas” la introduce Moulines para indicar que en su formulación aparecen *todos* los términos relacionales de la teoría (e implícitamente todos los conjuntos básicos) y, por tanto, *todos los conceptos fundamentales* de la teoría. Ellas, al enlazar todos los conceptos básicos nos proveen de la información esencial de ésta. Cf. MOULINES, C.U. *Pluralidad y recursión. Estudios epistemológicos*. Madrid: Alianza Universidad, 1991; pp. 232 ss.

como las de Galileo y Kepler y permiten hacer predicciones de eventos aún no observados, como ocurrió con el cometa Halley y con el descubrimiento de Neptuno, cuya existencia fue posible inferir con base en las irregularidades que presentaba la órbita de Urano respecto a lo previsto por las leyes de Newton. En la explicación de los fenómenos y de las leyes, el mecanismo utilizado, —cuya sistematización moderna fue hecha por Popper (1934), pero, sobre todo, por Hempel–Oppenheim (1948)— es el de subsumión y su proceso lógico–formal tiene la estructura de un silogismo aristotélico. Explicar científicamente un hecho, a la manera de los *Principia* de Newton, significa subsumirlo bajo una ley: el *explanandum* debe ser lógicamente deducible del *explanans*.²⁹

Javier Echeverría llama la atención sobre el hecho de que en la fase de emergencia de la ciencia moderna no se hablaba de *leyes*, sino más bien de *principios*, pues los planteamientos aristotélicos aún tenían mucho peso. En la tradición aristotélica, “la ciencia era la búsqueda de las causas, y cada ciencia debía tener sus propias causas últimas o primeros principios, cuya fundamentación era remitida, a su vez, a la metafísica o a la teología”.³⁰ Para que la ciencia moderna adoptara la terminología nomológica o

legaliforme fue necesario que la ciencia abandonara, como objetivo de sus investigaciones, la búsqueda de las causas. En este proceso la figura de D. Hume tuvo particular relevancia al sustituir las relaciones causales por un orden de sucesión temporal en el que se advierten regularidades. Este tránsito de los *principios de la naturaleza* a las *leyes de la naturaleza* es particularmente significativo, pues como lo advirtió Meyerson en su trabajo *Identité et Réalité* (1912), no es lo mismo investigar las causas de los fenómenos que indagar por las reglas a que están sujetos. Lo que hicieron los científicos modernos fue sustituir las relaciones causales entre fenómenos, por relaciones funcionales o, para ser más precisos, por relaciones de interdependencia funcional entre magnitudes, como se puede observar en el segundo principio donde la fuerza es directamente proporcional a la aceleración, de tal forma que un incremento en la magnitud de la fuerza conlleva, necesariamente, un cambio en la derivada de la velocidad con respecto al tiempo: la *aceleración*, y no simplemente en la variable de estado que la acción de la fuerza modifica: la *velocidad* del objeto en cuestión—. Sin embargo, el mismo Newton, a pesar de haber logrado establecer la ley de gravitación como ley universal y de haber planteado la ecuación correspondiente en términos

²⁹ Al modelo nomológico–deductivo se le han hecho muchas objeciones, basadas en distintos argumentos. Javier Echeverría en su trabajo “El concepto de ley científica” (MOULINES, C.U. (Ed.) *La ciencia: estructura y desarrollo*. Madrid: Ed. Trotta, 1993; p.60) presenta cuatro importantes objeciones de Wilson.

³⁰ *Ibid.*, p. 68.

de relación de interdependencia funcional, no escatimó esfuerzos por encontrar –a la manera aristotélica– una explicación causal de la gravitación, postulando como causas a Dios, al éter o a un misterioso “*espíritu sutilísimo* que penetra y yace latente en todos los cuerpos grandes”, responsable no sólo de la gravedad, sino también de los efectos eléctricos y luminosos y de la transmisión de las sensaciones al cerebro a través “de los sólidos filamentos de los nervios”.

Las leyes a las que se apela en la ciencia moderna son proposiciones universales, suficientemente bien confirmadas por evidencia empírica –no ficciones– que describen regularidades constantes entre fenómenos variables. Ellas permiten realizar explicaciones y hacer posible la predicción de eventos futuros. La explicación –como lo advierte Heidegger– “se realiza en la investigación”,³¹ y “en las ciencias de la naturaleza mediante el experimento”.³² Sin embargo, el experimento, en su sentido moderno, no se reduce, como en el caso de los antiguos, a una mera observación de las cosas, sus propiedades y modificaciones –sentido de la *empeiria* aristotélica–; el experimento moderno es un proceso en el que su diseño y ejecución están guiados y controlados por una ley y ésto es lo decisivo. Con frecuencia se cita a Roger Bacon como el precursor de la investiga-

ción experimental moderna. Sin embargo, para él el término “experimento” –al igual que para muchos autores del siglo XIII– tiene un sentido más o menos heremético, referido a procedimientos alquímicos y, hasta cierto punto, mágicos; en todo caso más cercanos a la noción de *empeiria* aristotélica que a la de experimentación moderna.

Para entender el sentido y alcance de la experimentación moderna es preciso diferenciar la *observación simple* que suscita la hipótesis, del *experimento*, entendido éste como la producción artificial de los fenómenos tendiente a controlar la hipótesis. Como dice Claude Bernard, una cosa es “hacer una observación” y otra “recurrir al experimento”.

La observación nos lleva a plantear el problema y a suscitar una solución posible a título de hipótesis más o menos verosímil que será necesario controlar, esto es, poner a prueba, lo que exige recurrir a un proceso artificial, el experimento, para establecer si la hipótesis concuerda o no con las consecuencias que lógicamente se derivan de ella. Todo ésto exige hacer uso del *razonamiento hipotético-deductivo*, por un lado, y traducir los fenómenos en términos de magnitudes, por otro. La *deducción hipotética* propia de dicho razonamiento es diferente de la *deducción categórica* que afirma su principio como verdadero para comu-

³¹ HEIDEGGER, M. *Sendas perdidas*, p. 71.

³² Idem.

nicar su certidumbre a las consecuencias. Las hipótesis a que alude el método experimental moderno son hipótesis que, sin ser ficticias, tienen el carácter de hipótesis-conjetura, es decir, hipótesis cuyo valor de verdad queda en suspenso hasta tanto la verdad o falsedad de sus consecuencias permita establecerlo. Esto, por supuesto, encierra las dificultades señaladas por Popper en el sentido de que la verdad de las consecuencias no nos garantiza la verdad de las premisas, pues, lo verdadero puede deducirse de lo falso. Lo único posible es —de conformidad con el precepto falsacionista popperiano— establecer la falsedad de las hipótesis a partir de la falsedad de las consecuencias y, hacerlo, es para Popper el signo distintivo del saber científico frente a otros saberes.

La confirmación de la hipótesis —como diría un neoempirista— o su refutación —como diría un racionalista crítico— sólo puede darse en el marco de “un esbozo exacto de la naturaleza”;³³ que, en el caso de la llamada “física clásica” —como paradigma de la ciencia moderna— traza la proyección matemática. Con esta proyección, la naturaleza pasa a convertirse en el *objetivo* de un representar calculador y la verdad de esta representación — como representación fundada en prin-

cipios axiomáticos— adquiere el carácter de certidumbre, al menos en la reflexión que sobre ella nos hacen filósofos modernos como Descartes. Desde Hegel,³⁴ el autor del *Discurso del método* y de las *Regulae* ha sido considerado como el fundador de la filosofía moderna. Para Heidegger es en Descartes donde por primera vez “se determina [...] lo existente como objetividad del representar y la verdad como certidumbre del representar”.³⁵ Para el filósofo de la Selva Negra “lo decisivo [de la edad moderna] no es que el hombre se libertara de suyo de las ataduras anteriores, sino que se transformara absolutamente la esencia del hombre, al convertirse éste en sujeto”.³⁶ Así, el hombre pasa a ser una instancia fundamental de decisión acerca de *lo que es* y acerca de la verdad *qua certitudo* de lo que es. Sin embargo, este planteamiento no es completamente acertado. J.P. Margot, por ejemplo, advierte que para el caso de Descartes, “no podemos olvidar que la trascendencia divina constituye el respaldo de la subjetividad finita del hombre. Se trata de un Dios filosófico que determina y sostiene tanto al mundo como al hombre. La ley de la metafísica cartesiana consiste en aprehender la subjetividad y en mantener su tensión interna con la trascendencia, con el Dios creador de las verdades eternas”.³⁷

³³ Ibid., p. 73.

³⁴ Hegel pensaba que con Descartes, la filosofía, después de navegar por turbulentos mares, al fin había tocado tierra.

³⁵ HEIDEGGER, M. Op. cit., p. 77.

³⁶ HEIDEGGER, M. Op. cit., p. 78.

³⁷ MARGOT, Jean Paul. *La modernidad. Una ontología de lo incomprensible*. Cali: Ed. Universidad del Valle, 1995; p. 12.

En la ciencia moderna, o al menos en los planteamientos de algunos de sus autores, se presenta una situación similar a la que encontramos en Descartes con su "Dios filosófico". Ella —no obstante erigir un mundo a partir de un proyecto matemático— buscó en sus comienzos un fundamento trascendente para sus principios y sus leyes. Newton, por ejemplo, exigido por la crítica de algunos de sus contemporáneos y, en particular, por los filósofos mecanicistas,³⁸ se da a la tarea de explorar las causas de la gravitación y de postular la existencia de un Dios que, a diferencia de los de Descartes y de Leibniz, no se limita a la simple creación de un mundo armónico para, una vez creado, dejarlo a su propia suerte; el Dios de Newton, el gran arquitecto, ejerce sobre el mundo una providencia constante y de ella dependen todos aquellos principios activos responsables de la atracción de los cuerpos, de los cambios de la materia y de la reposición del movimiento que, por las fuerzas de fricción, gradualmente se va perdiendo. Sea que se hable de una autonomía de la naturaleza como lo proponen Descartes y Leibniz, sea que se invoque la providencia como lo hace Newton, en cualquier caso se trata de una naturaleza creada por una entidad trascendente que, al imponer sobre ella un orden de legali-

dad en el acto de su creación, hace que la tarea primordial de la ciencia sea la de *descubrir* ese orden de legalidad en los fenómenos, el secreto de sus estabilidades y de los acontecimientos que jalonan el curso.

Es a partir del siglo XVII cuando la ciencia moderna y, específicamente la física, progresivamente comienza a convertirse en una forma de racionalidad dominante frente a otras expresiones como las de la magia, el mito y la alquimia que, por efectos de esta racionalidad, comienzan a resultar inaceptables. Esta ciencia, además de producir explicaciones coherentes de muchos de los fenómenos, permitió alcanzar síntesis superiores como la que se produjo en la mecánica newtoniana respecto a las físicas galileana y kepleriana, desmantelando así — como lo dijera Koyré— "las barreras que separaban el cielo y la tierra"; sustituyó el mundo de las cualidades sensibles en el que vivimos, amamos y morimos, por un mundo de cantidades abstractas que el hombre sólo puede laboriosamente descifrar a través de cálculo y medida; posibilitó el acceso, por el recurso experimental, a lo que en aquel entonces se consideraba el "plan divino" que, en opinión de muchos, este mundo expresaba global y localmente. En fin, una ciencia,

³⁸ En Inglaterra, la pujanza y prestigio del empirismo hace que la filosofía mecanicista tenga mucha influencia. Newton, como se sabe, no escapó a ella, al punto de aceptar muchas de sus premisas básicas, por ejemplo, su concepción atomista de la materia, aunque en sus obras matemáticas, sin rechazar el atomismo, proporciona una explicación diferente de ésta. (Cf. GRANES, José. *Newton y el empirismo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1988; p. 92).

la moderna, que en palabras de Ilya Prigogine e Isabelle Stengers, es “la [...] que honran las Academias fundadas por los soberanos absolutos, Luis XIV, más adelante Federico II y Catalina de Rusia; es la ciencia que ha hecho de Newton el héroe nacional. En resumidas cuentas, es una ciencia que *ha tenido éxito*, que cree haber *demostrado* que la naturaleza es transparente y que puede exponerse como tal. “No tengo necesidad de esta hipótesis”, responde Laplace a Napoleón, cuando le pregunta éste donde está Dios en su Sistema del Mundo”.³⁹

Pero a pesar de los éxitos, tanto en el nivel teórico, como en el nivel técnico y tecnológico, que incluso ha llevado a que ella se haya convertido en un importante paradigma para investigaciones en otros campos, incluyendo los ámbitos social y político –Hobbes es un buen ejemplo de ello– la ciencia de hoy ya no es la “ciencia clásica” y los conceptos fundamentales en los que ella se basa se han visto *limitados* hoy por un desarrollo teórico que, sin ninguna duda, podemos calificar de “revolucionario”. El “diálogo experimental” de que nos hablaba A. Koyré, ya no se reduce exclusivamente al mundo de los objetos macroscópicos. El universo microscópico se ha convertido en el centro de atención para muchos investigadores. La mecánica cuántica, que en la actualidad es la teo-

ría de los comportamientos microscópicos, ha planteado una serie de nuevos problemas ignorados por la dinámica y mecánica clásicas. Con ella se ha rehabilitado la idea de que el mundo es un mundo indiscutiblemente aleatorio y de indeterminación en el que nuestras predicciones están completamente limitadas. Esto ha llevado a que eminentes investigadores, como el físico inglés Stephen Hawking, hayan planteado una redefinición de la tarea de la ciencia como “el descubrimiento de leyes que nos permitan predecir acontecimientos hasta los límites impuestos por el principio de incertidumbre”.⁴⁰ En oposición a la ciencia clásica, caracterizada por el uso de conceptos y principios como “causalidad”, “estabilidad”, “permanencia”, “regularidad”, “simplicidad”, “mecanicismo”, etc., comenzaron a surgir otros como, “indeterminismo”, “complejidad”, “inestabilidad”, “irreversibilidad”, “aleatoriedad”, etc., con implicaciones muy fuertes sobre el futuro de la ciencia y sobre la racionalidad que a ella corresponde. Filósofos tan connotados como W.V.O. Quine han señalado las repercusiones de la mecánica cuántica sobre la lógica *estándar* al punto de que hoy en día se han desarrollado lógicas cuánticas. En la actualidad se pretende ir más allá de la magistral síntesis operada por la mecánica newtoniana y se trabaja en la construcción de una teoría unificada, com-

³⁹ PRIGOGINE, Ilya y STENGERS, Isabelle *La nueva alianza*. Madrid: Alianza Editorial, 1990; pp. 79-80.

⁴⁰ HAWKING, Stephen W. *Historia del tiempo*. Barcelona: Ed. Crítica, 1988; p. 221.

plera y consistente que, además de incluir a las teorías parciales como aproximaciones, busca la unificación de las fuerzas electromagnéticas, débiles, fuertes y la gravedad. Esta teoría que, para algunos marcaría el fin de la física (?), superaría lo que hasta ahora se conoce como las Teorías de Gran Unificación (TGU), donde si bien la unificación de las fuerzas electromagnéticas y nucleares débiles —como lo señala Hawking— “produjo cierto número de intentos de combinar estas dos fuerzas con la interacción nuclear fuerte”,⁴¹ sin embargo, “las teorías resultantes ni son tan grandes, ni están totalmente unificadas, pues no incluyen la gravedad”. Hawking, en un arrebatado de optimismo, abraza la esperanza de que será posible una teoría completa y verdaderamente unificadora de las cuatro fuerzas que —según sus propias palabras— “con el tiempo habrá de ser, en sus líneas maestras, comprensible para todos y no únicamente para unos pocos científicos. Entonces todos, filósofos, científicos y la gente corriente, seremos capaces de tomar parte en la discusión de por qué existe el universo y de por qué existimos nosotros. Si encontrásemos una respuesta a ésto, sería el triunfo definitivo de la razón humana, porque entonces conoceríamos el pensamiento de Dios”.⁴²

A pesar del efecto de desencantamiento o de inusitado optimismo que pueda suscitar todo lo anterior, tenemos la convicción de que el proyecto matemático que anima a la ciencia moderna aún conserva su plena vigencia, al igual que muchas de las categorías antes mencionadas, como es el caso de la categoría de “causalidad”. Afirmar —como suele hacerse— que la teoría cuántica acarrea la quiebra del determinismo, nos obligaría —como filósofos— a preguntarnos de qué determinismo estamos hablando y de qué interpretación de la teoría cuántica, pues —como es sabido— de la mecánica cuántica existen en la actualidad un número considerable de interpretaciones coherentes y empíricamente equivalentes. “La presentación habitual de la teoría de los *quanta*, —nos dice Mario Bunge— tal como la han propuesto Bohr y Heisenberg, elimina la causalidad en lo que se refiere a los resultados de la observación [...] pero esta restricción de la *causalidad* no acarrea la quiebra del *determinismo*, por cuanto en tal interpretación se retiene de modo inequívoco la determinación estadística, para no hablar siquiera de las leyes no estadísticas de la mecánica cuántica, tales como las leyes de conservación, las reglas de selección o el principio de exclusión”.⁴³ Y algunas líneas más adelante afirma: “la

⁴¹ Ibid., p. 106.

⁴² Ibid., pp. 223-24.

⁴³ BUNGE, Mario. *La causalidad. El principio de causalidad en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Suramericana, 1997; p. 32.

interpretación usual de la mecánica cuántica no barre con las causas y los efectos, sino con los nexos causales rígidos entre unas y otras".⁴⁴ En forma análoga se pronuncia R. Torretti a propósito de la demostración de los principios correspondientes a las "Analogías de la experiencia" que aparecen en la *Crítica de la razón pura* de I. Kant. Indica Torretti que la crítica planteada en el presente siglo a los principios de acción instantánea a distancia, simultaneidad, determinismo, etc. —a los que Kant erróneamente atribuía un significado universal y una validez irrestricta—, deja en pie, sin embargo, la validez ilimitada del prin-

cipio de causalidad. Una cosa es que en el campo de la microfísica no se pueda asignar simultáneamente una posición y un momento cinéticos a una determinada partícula de materia, y otra, bien distinta, que el principio de causalidad haya perdido su validez.⁴⁵ En palabras de Torretti: "[...] más que una crisis de la causalidad, se trata [...] de la quiebra del viejo principio metafísico *omne ens omnimode determinatum* [...]. Lo que si parece obvio es la presencia de alguna regularidad en los fenómenos que bien podría llamarse "conexión causal aproximada", "imprescindible para que el hombre sea hombre y organice en torno suyo una experiencia".⁴⁶

⁴⁴Ibid, p. 33.

⁴⁵ Hasta el siglo XIX la mecánica consideraba que era posible predecir o retrodecir con exactitud el estado de movimiento de cualquier cuerpo si se conociera la posición y el estado cinético (producto de la masa y la velocidad) en un instante determinado —condiciones antecedentes— y se dispusiera de ecuaciones diferenciales que rigieran sus magnitudes —hipótesis o leyes generales. Sin embargo, con el advenimiento de la mecánica cuántica se plantea, en el campo de las micropartículas, la imposibilidad de poder asignar simultáneamente una posición y un momento cinético determinados a ellas. La imprecisión mínima en el valor del producto de estas dos magnitudes es una cantidad pequeña, finita, conocida como la constante h de Planck: $6,625 \times 10^{-27}$ erg-segundos. Pero del hecho de que no sea posible hacer predicciones exactas con respecto a lo que ocurrirá en un experimento dado, no se sigue —como lo advierte el físico R. Feynman— que la ciencia haya colapsado completamente. (Cf. FEYNMAN, Richard P. *The Feynman Lectures on Physics*, vol 1, Reading, Mass, 1963; pp. 2-6).

⁴⁶ Ibid., p. 462.