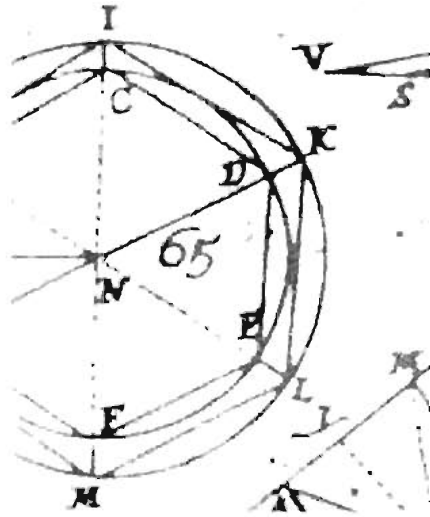


A

Plena

Luz

Con Isaac Newton el dominio del pensamiento teológico para explicar la naturaleza toca a su fin. De ese momento en adelante la observación, la matematización y la legislación del universo capacitan al hombre para conocer y dominar la naturaleza.



La historia de la ciencia y en particular la historia de la física nos pueden dar cuenta de que es precisamente el "intelecto comunitario", la mente colectiva, lo que ha permitido al hombre evolucionar a una velocidad impresionante comparado con otros animales.



La Revolución científica del siglo XVII debe entenderse en realidad como parte de la revolución intelectual que arrancó en el Renacimiento y la Reforma y que constituyó la base a partir de la cual se configura la nueva sociedad. Para un resurgimiento de una nueva revolución científica los regímenes totalitarios de izquierda o derecha sólo pueden constituirse en factores activos de su aborto.



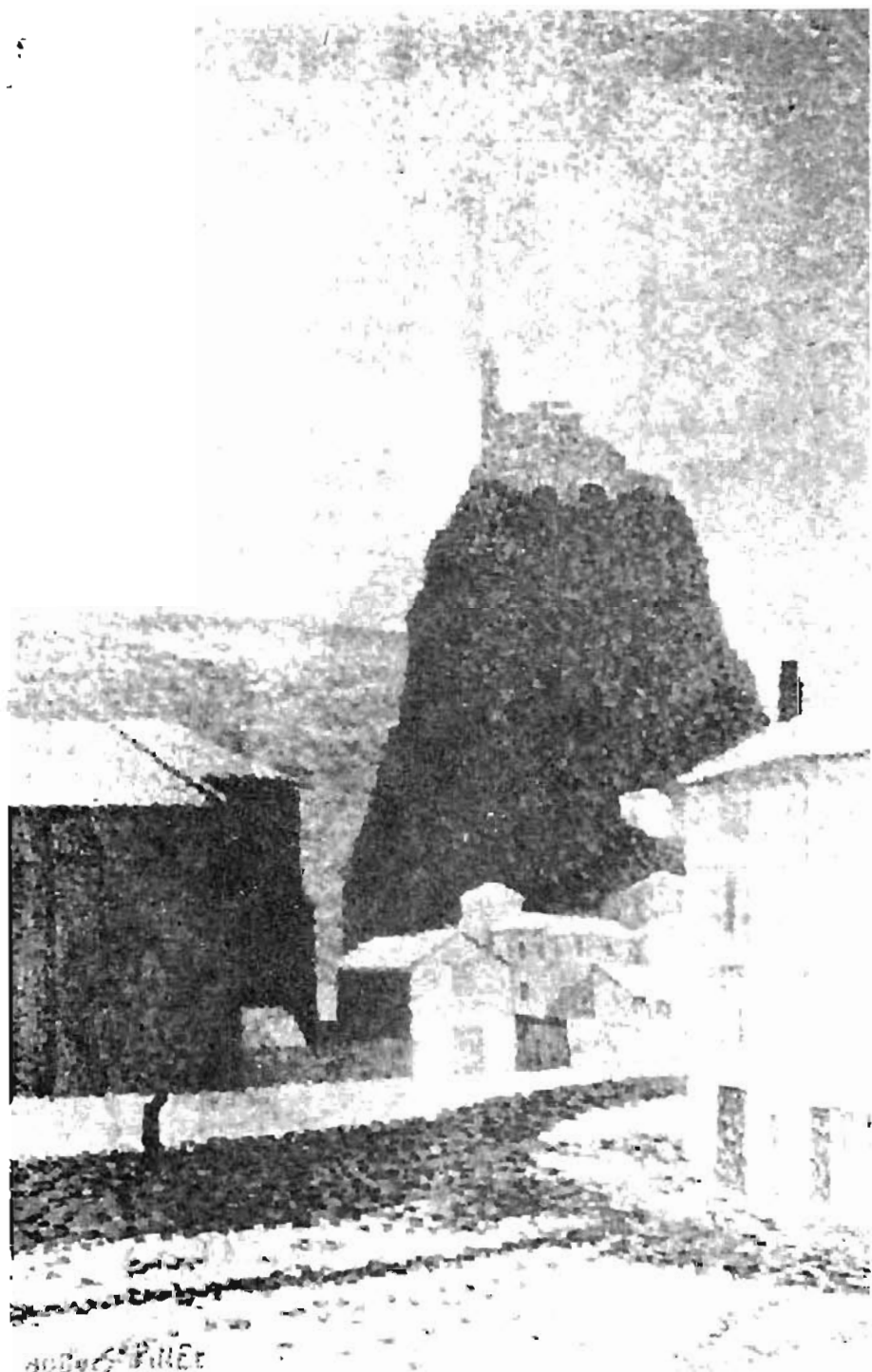
Newton todavía esta ahí*

José Luis Olivárez Vázquez

I

Los historiadores contemporáneos han transformado radicalmente nuestra interpretación de los sucesos del pasado. Su énfasis en escribir la historia de las sociedades como la relación inseparable de procesos económicos, políticos, geográficos e intelectuales ha descubierto para nosotros acontecimientos que, al paso de los siglos, permanecen hasta nuestros días. Inscritos en la historia, somos protagonistas de procesos de larga duración; recreamos en nuestras obras actos, tendencias, que han sobrevivido a violentas transformaciones del pasado. Estos saltos agitados —guerras, polémicas, catástrofes naturales— procesos de corta duración, nos ocultan aquello que, en medio de las irregularidades, continúa. Las ideas, en esta nueva historia, son parte de las sociedades y estas dos escalas de tiempo también están presentes en su historia.

El siglo XVII es protagonista de dos revoluciones; una industrial y otra científica. Sabemos ahora que estos acontecimientos no están desligados. La nueva ciencia es la ciencia del artesano, del ingeniero emprendedor y del comerciante calculador, tanto como la de las sociedades científicas y las universidades. Las ciudades, estas grandes concentraciones económicas, son también concentraciones de los medios técnicos y de los intelectos. En el principio, en la Inglaterra del siglo XVII, es difícil establecer la unidad, la relación inseparable que es-



55. Dubois-Pillet: *Saint-Michel d'Aiguilhe bajo la nieve*. Le Puy, 1889-1890. 60 x 36,5 cm. Le Puy, Musée Crozatier.

* Artículo premiado con el segundo lugar en el concurso nacional "Newton '87", convocado por la SMF, revistas: *Ciencia y Desarrollo* y *Elementos*.

tas concentraciones tienen entre sí: es un proceso histórico de larga duración éste que nos permite ahora, en pleno siglo XX, entender la sociedad actual como una ligazón profunda entre las ciencias, las técnicas y las grandes concentraciones económicas que nacieron tres siglos atrás.

El momento culminante de esta revolución científica está marcado por la publicación de los *Principios matemáticos de la filosofía natural*, escritos por Isaac Newton hace exactamente tres siglos. Hablar de su influencia en el mundo actual significa destacar los elementos que, en un tiempo largo, han madurado y permanecido hasta nuestros días.

Conocer el mundo era, en el siglo XVII, un problema filosófico. Y, por eso, lo era también para las ciencias. En aquella época la filosofía, la ciencia y la tecnología eran una sola disciplina, fundida bajo un objetivo común: descubrir a Dios en la naturaleza. La pregunta por el conocimiento, por sus posibilidades, era la pregunta por el método: ¿Existe un método seguro, infalible, general, para descubrir los secretos de la naturaleza? Para Descartes, uno de los pensadores más importantes de la época de Newton, encontrar ese método infalible significaba construir una cadena de causas y efectos que nos llevase hasta la causa primera; es decir, Dios. Por eso, conocer era un problema: La naturaleza es Dios, ¿podemos los hombres, sus humildes criaturas, decir algo del Creador?

Cuando Newton escribió los *Principios* tenía en mente este problema. Fue por ello que escogió como título para su libro éste que ahora conocemos (*Philosophiæ naturalis principia mathematica*, escrito en latín) en vez de, simplemente, *Sobre el movimiento de los cuerpos*, como originalmente había pensado llamarlo. En su prólogo, el problema del método quedaba resuelto:

Presento este trabajo como los principios matemáticos de la filosofía, porque toda ella parece

consistir en esto: a partir de los fenómenos del movimiento, investigar las fuerzas de la naturaleza, y después, a partir de esas fuerzas, demostrar los demás fenómenos (*Principia*. Prefacio).

Es decir, el método de Newton consiste en extraer de los fenómenos del movimiento los principios matemáticos que lo explican, para después, razonando matemáticamente, demostrar que los fenómenos que observamos pueden entenderse correctamente.

Las polémicas que esta nueva filosofía desató durante el resto del siglo XVII y todo el siglo siguiente fueron numerosas y de contenidos muy diversos. Para pensadores como Leibniz, el descubrimiento newtoniano de la ley de la gravitación universal, incuestionable en relación a los propios fenómenos naturales que explicaba, era inaceptable por argumentos filosóficos: En la teoría de Newton, ¿cuál es la causa primera, Dios o la atracción? Newton nunca respondió directamente a las críticas filosóficas a su teoría. Sin embargo, sus comentarios marginales son muy reveladores:

Conocer es extraer de la naturaleza mediante la observación leyes generales y escribirlas matemáticamente.

El orden del Mundo debe ser efecto de un agente que actúa en todo momento de acuerdo a ciertas leyes; si este agente es material o inmaterial, lo dejo a consideración de mis lectores (Newton. *Correspondencia*).

Lo que Newton entendía por causas de movimiento era completamente disínto de lo que se pensaba, generalmente, en su siglo. En su sistema, la causa primera es una ley que nos permite explicar ordenadamente los diversos fenómenos, es decir, el mundo y la natura-

leza. Dios, tal y como lo pensaban sus contemporáneos, no está allí: en relación con la naturaleza, conocer significa extraer de ella —mediante la observación— sus leyes generales y escribirlas matemáticamente, éste es el límite y objetivo de su obra. De este modo conocemos el mundo. Pero Dios, que es la naturaleza, no es solamente la naturaleza: ¿Por qué las leyes son de este modo y no de cualquier otro? No lo sabemos y no podemos saberlo; la respuesta a esta pregunta queda, como dijo Newton, a la consideración de los lectores.

El alud de críticas filosóficas contra sus investigaciones hizo que Newton se viese obligado a incluir en la segunda edición de los *Principia* (en 1713, 26 años después) un *Escolio General*, en el cual intentó dejar en claro el lugar de Dios en su sistema, así como su fe en un creador supremo.

Hasta ahora —nos dice allí— hemos explicado los fenómenos de los cielos y de los mares mediante la fuerza de atracción de la gravedad, pero no hemos aún asignado causa alguna a esta fuerza.

Y algunas líneas más adelante,

este hermoso sistema del Sol, los planetas y los cometas puede solamente proceder del consejo y el dominio de un ser inteligente y poderoso.

Sin embargo, las cinco páginas al final de los *Principia* que constituyen este escolio, no fueron ni remotamente la respuesta final al problema que esta obra planteó para los filósofos. En este aspecto, Leibniz (crítico incansable de toda la obra newtoniana; creador, junto con el mismo Newton del cálculo diferencial; filósofo de una formación mucho más completa que la del primero) tenía razón: pese al *Escolio General*, el sistema newtoniano excluye la idea de Dios o, por lo menos, la idea que en el siglo XVII se tenía de él como la causa

primera de todos los fenómenos de la naturaleza.

Esta idea general de la ciencia, de su método y de sus posibilidades es absolutamente actual. De Newton heredamos, a través de tres siglos, tres certezas ahora incuestionables: los secretos de la naturaleza pueden descubrirse; el método newtoniano de conocimientos (la determinación de las leyes generales y la matematización de la explicación de esos secretos de la naturaleza) es el método de la ciencia; y el conocimiento científico no es el conocimiento de Dios y su relación con la metafísica es bastante lejana.

II

La obra newtoniana tardó más de cincuenta años de influir a la Europa continental. Este es el periodo en que la nueva interpretación de los antiguos problemas filosóficos que hemos resumido se asimiló a la cultura general europea. Durante este tiempo no hubo discípulos o seguidores que contribuyesen al desarrollo de sus ideas. Pese a esto, los principios de la mecánica habían quedado establecidos y sobrevivirían en lo esencial hasta nuestros días. En su formulación, Newton sintetizó los trabajos de —entre otros— dos grandes pensadores de su siglo: Kepler (el movimiento de los cuerpos celestes) y Galileo (el movimiento de los cuerpos en la tierra). La obra newtoniana, la teoría general del movimiento, es la primera gran unificación de conocimientos; la unidad de la física del universo y de la Tierra. Esta unidad establecida en los *Principia* es sinónimo de generalidad. El movimiento de un cuerpo, sea éste un planeta o una piedra que cae sobre la superficie de la Tierra, se representa por puntos y líneas en un espacio geométrico. Los puntos representan un cuerpo en general y el movimiento es el cambio de posición de ellos en el espacio y en el tiempo. Las propiedades de este espacio y este tiempo, también geométricos, son generali-

zaciones de nuestra intuición de lugar y de lo que llamamos antes y después. Esta construcción mental, sin embargo, no es suficiente para representar bien el movimiento de los cuerpos naturales. Necesitamos extraer de los fenómenos mismas relaciones y propiedades que les sean comunes e incluirlos en aquella. Estas son las leyes de Newton, lo que él llamó principios matemáticos de la filosofía natural. De Kepler y Galileo es la idea de formular matemáticamente estos principios. También es su herencia el haber escrito los *Principios* “en caracteres geométricos”. Pese a que Newton había inventado el cálculo —su *método de fluxiones*— la presentación de todas las demostraciones matemáticas en su libro está hecha con geometría: el primer libro de la nueva ciencia es, en este aspecto, el último libro de la tradición geométrica fundada por los griegos.

La organización y el desarrollo de la teoría newtoniana en el lenguaje del cálculo diferencial fue obra de sus seguidores en el continente y se elaboró utilizando la formulación leibniziana del mismo. Esto, como ya mencionamos, sucedió setenta años después de publicados los *Principia*, ya en pleno siglo XVIII. Es la época de los Bernoulli, Leonhard Euler, D'Alembert, Lagrange y Laplace. La extensión de las ideas newtonianas a campos afines de la física es también su obra: fueron los creadores de nuevas formulaciones de la mecánica del cuerpo rígido, de los fluidos y de la estática. La aparición de la *Mecánica analítica* de Lagrange, casi exactamente cien años después que los *Principia*, marca un triunfo irreversible para el newtonianismo como filosofía y método

La obra newtoniana es la primera gran unificación de conocimientos: la unidad de la física del universo y de la Tierra.



de la ciencia. Esta obra contiene una exposición de la mecánica basada en principios matemáticos distintos de los newtonianos: los principios variacionales. Hacia 1788, casi nadie duda ya que la búsqueda de principios sea el buen camino hacia el conocimiento.

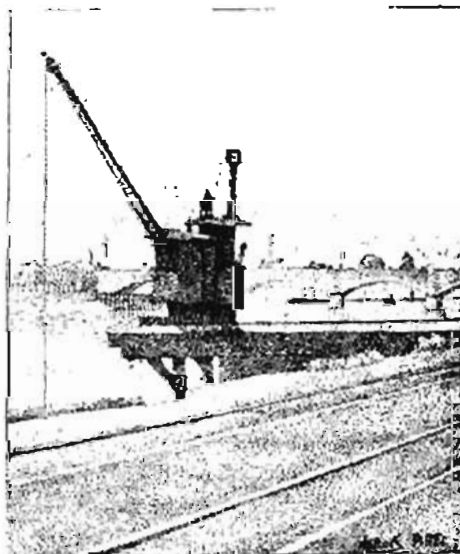
Este es también un siglo de renovación filosófica. Las críticas agresivas al newtonianismo por parte de los últimos exponentes de la filosofía teológica abrieron paso a un respeto extendido expresado por todos los pensadores de la Ilustración francesa; D'Alembert, Voltaire, Rousseau, Diderot y Montesquieu fueron, todos ellos, defensores y discípulos incansables de la obra de Newton. El rumbo de la filosofía cambió fuertemente. Los nuevos temas tenían su origen en la necesidad de explicar la *teoría del conocimiento* implícita en la nueva ciencia: ¿qué relación guarda este nuevo conocimiento de la naturaleza con su objeto, es decir, con la naturaleza misma?, ¿qué relación existe entre los conceptos de espacio y tiempo absolutos de Newton y el espacio y tiempo de la realidad? ¿A esta determinación de los principios le corresponde una determinación de la naturaleza? El siglo XVIII respondió con precisión a todos estos problemas. Su exponente principal no fue, paradójicamente, francés sino alemán: Immanuel Kant. Su *Crítica de la razón pura* es la exposición rigurosa de la fi-

lososofía de Newton y los newtonianos, exposición que el primero no dejó sino en bosquejo. En palabras de Gaston Bachelard, Kant dio a la ciencia newtoniana la filosofía que merecía, abriendo las puertas al desarrollo de los grandes sistemas filosóficos del siglo XIX. Después de él, la ciencia y la filosofía nunca más volvieron a estar tan íntimamente relacionadas.

En el siglo XIX la permanencia del pensamiento newtoniano es mucho más difícil de destacar. Para la historia de las ideas, el crecimiento del conocimiento es tan colosal que toda síntesis está condenada a la parcialidad. El saber enciclopédico del XVIII se amplifica y regionaliza. Las matemáticas se desarrollan ya independientemente de la mecánica; lo mismo sucede con la filosofía y la historia. La física en su conjunto sufre transformaciones radicales: se establece ahora un vínculo mucho más poderoso con las técnicas y los procesos de producción. Aparece la mecánica de Hamilton y Jacobi, la teoría de las transformaciones canónicas de Poisson, las ecuaciones hidrodinámicas de Navier y la nueva polémica sobre los principios de la mecánica en la que intervinieron, entre otros, Kirchhoff, Hertz, Poincaré, Helmholtz y, muy particularmente, Ernst Mach. La ciencia inglesa, ajena por completo a la evolución y consolidación de la mecánica del siglo XVIII, ocupa una vez más un lugar fundamental en el XIX. Aparte de Hamilton, en lo que a mecánica se refiere, Maxwell publica su *Tratado de electricidad y magnetismo*, en muchos aspectos el equivalente en electrodinámica a los *Principia* para la mecánica. Este libro bien podría titularse, dentro de la más pura tradición newtoniana, *Los principios matemáticos de los fenómenos electromagnéticos*. De entre todos estos aspectos que relacionan la obra de Maxwell con la de Newton, nos importa destacar uno en especial: la unificación del conocimiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos, como antes ocurrió en la unificación del

El primer libro de la nueva ciencia es el último libro de la tradición geométrica fundada por los griegos.

conocimiento de los fenómenos terrestres y celestes del movimiento. Pero en Maxwell la unificación es mucho más extensa, pues su teoría da cuenta, al mismo tiempo, de la óptica. También aquí, como en Newton, son principios matemáticos que explican una cantidad enorme de fenómenos. Con la fundamentación matemática del electromagnetismo, el horizonte de conocimiento de la física se expande enormemente, incorporando a su acervo una teoría cuyos principios



31. Dubou-Pillet. Muelles del Sena en París, 1888. Dibujo a pluma. Realizado para el catálogo de los XIX. Se desconoce su paradero.

y objetos de estudio son distintos de los de la mecánica, si bien pronto comparte con ésta el papel de teoría básica. El siglo XIX es también responsable, debido sobre todo a los trabajos de Boltzmann, de la creación de la mecánica estadística, es decir, el estudio del movimiento de sistemas compuestos por un número muy grande de partículas. En ella encontraremos la primera incorporación de las teorías probabilísticas como principios matemáticos de descripción de los fenómenos.

Esta expansión vertiginosa, dijimos, regionaliza el conocimiento. La *Enciclopedia* francesa se convierte en enciclopedias de saberes muy diversos. La sociedad del siglo XVII, aquella de las ciudades, el comerciante, el sabio y el artesano, se ha convertido en el siglo XIX en la sociedad de las naciones, la infinita riqueza material y la industria a gran escala. El conocimiento de la naturaleza no requiere ahora de argumentar sobre sus posibilidades; es un conocimiento activo que ahora puede dominarla. Este dominio de los procesos naturales que descansa en su conocimiento era en la época de Newton una posibilidad; ha sido la obra de dos siglos convertirlo en una realidad a escalas extensas.

Esta es, quizás, la herencia mayor que el siglo XIX ha dejado al siguiente. Cuando el newtonianismo dio respuesta a la pregunta por el método de la que hablamos al principio, tenía en sus manos, como un argumento más, el hecho de que realmente había explicado algunos fenómenos, lo cual abría la posibilidad de agrandar ese horizonte. Hacia el siglo XIX esta posibilidad se había hecho realidad: la expansión del conocimiento no era más una promesa, era un hecho. Algo similar sucedió con las preguntas filosóficas del XVIII respondidas por Kant. En el siglo XIX la relación entre conocimiento y naturaleza era ya evidente, pues el conocimiento de la naturaleza desarrollado hasta entonces podía ya controlarla: la pregunta por su relación estaba ya respondida en los hechos.

III

En el siglo XX comienza, para la física, en 1905. Albert Einstein publica sus trabajos sobre el concepto del fotón y la teoría especial de la relatividad. En el primero de ellos, el descubrimiento de Planck (relacionado con la teoría de la radiación del cuerpo negro) de que la energía radiada es emitida y absorbida en cantidades discretas,¹ se



17. Van Gogh: *Una A. Monnaie* París, 1887. 95,9 x 120 cm. Amsterdam: Stedelijk Museum

propone como un descubrimiento general.

Muy pronto, la física del XIX encuentra problemas al tratar de describir los nuevos fenómenos del mundo microscópico con los principios de las teorías básicas que ha descubierto. En el estudio de Planck se conjugan argumentos estadísticos, electromagnéticos y mecánicos; el resultado que de esto se obtiene es paradójico. En palabras de Einstein, la descripción ondulatoria propia del electromagnetismo es radicalmente distinta de la corpuscular, propia de la mecánica en general y de la, recientemente descubierta, mecánica estadística en particular. El problema no es nuevo: el estudio de la luz, que se remonta una vez más a Newton (su segundo gran libro es la *Óptica* o *Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, publicado en 1701), había participado también de esta paradoja. En Newton la suposición básica es que la luz está compuesta de pequeñas partículas. La óptica que se desarrollará después y que quedará incorporada a la electrodinámica de Maxwell, descubre que la luz es una onda que se propaga en el espacio. Esta es entonces la paradoja: ¿Es la luz un haz de corpúsculos discretos o una propagación continua de energía (en forma de ondas) en el espa-

La Crítica de la razón pura de Kant es la exposición rigurosa de la filosofía de Newton.

cio? La interpretación ondulatoria tenía, hasta Einstein, muchas ventajas sobre la corpuscular, pues todos los fenómenos descritos por la segunda podían ser descritos también por la primera, pero no a la inversa. El descubrimiento de Planck, y después de él de muchos otros, ofrecía ahora a la segunda interpretación experimentos, fenómenos que la primera no podía explicar. La respuesta de Einstein al problema es: la luz se propaga como una onda de acuerdo a la teoría electromagnética pero su emisión y absorción, es decir, su interacción con la materia, se describe por medio de partículas portadoras de cantidades discretas de energía: los fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo, elevada a principio general del conocimiento, al ser desarrollada hasta sus últimas consecuencias dará origen veinte años después a la mecánica cuántica, sobre la que volveremos más adelante. Por lo pronto dejemos claro que la respuesta de Einstein tiene también como motivación profunda la búsqueda de la unidad en los conceptos. Ha incorporado a la teoría de Maxwell conceptos me-

cánicos: los fotones "chocan" con la materia como partículas y en su interacción satisfacen leyes mecánicas.

El segundo de los trabajos de Einstein, la *Teoría especial de la relatividad*, comparte la misma motivación profunda con el primero. Ahora la paradoja se refiere a otro aspecto donde las teorías de la mecánica y el electromagnetismo son diferentes: las transformaciones entre sistemas de referencia inerciales diversos; el modo en que distintos observadores de un mismo fenómeno, ubicados en distintos lugares del espacio y que se mueven a velocidad constante entre sí, pueden hacer corresponder sus observaciones. En la mecánica de Newton estas transformaciones son sencillas, porque se ha supuesto un espacio y un tiempo absolutos, es decir, únicos, inmóviles y eternos. Sin embargo, cuando aplicamos estas transformaciones en la teoría electromagnética los resultados que obtenemos no son correctos: las leyes para comparar observaciones de fenómenos electromagnéticos realizadas en distintos lugares del espacio no son las transformaciones galileanas, sino las llamadas transformaciones de Lorentz. Einstein propone entonces: los conceptos mecánicos de espacio y tiempo absolutos deben reemplazarse por el de una velocidad absoluta, la velocidad de la luz. Si aceptamos este hecho, que los experimentos de la época casi hacían ya evidente, y lo elevamos a principio general de nuestra teoría, entonces las transformaciones correctas son las de Lorentz y la mecánica, como la electrodinámica, debe obedecerlas. Esta es la teoría especial de la relatividad, cuyo fruto principal es la reformulación relativista de la mecánica. Esta reformulación toca las bases mismas de la construcción newtoniana al concebir el espacio y el tiempo, en que los objetos se mueven, de un modo muy distinto.

Hacia 1716 Einstein aborda un tercer aspecto relacionado con la obra de Newton, al presentar su

Teoría general de la relatividad, la reformulación moderna de la teoría newtoniana de la gravitación: la causa de la ley de la gravitación está en la geometría del espacio en que vivimos. Aquí el vínculo con la obra de Newton es muy grande, pues esta nueva teoría responde al problema que Newton quiso resolver en el *Escolio* final de sus *Principia* en términos de Dios, como hemos mencionado.

La mecánica cuántica, que nació con Plack y Einstein y se formuló en 1925, complementa y generaliza el trabajo del segundo sobre el fotón. Einstein incorporó conceptos mecánicos a la teoría ondulatoria maxwelliana; la mecánica cuántica procede a la inversa: incorpora conceptos ondulatorios a la mecánica. Los principios matemáticos de esta nueva teoría son, como en la mecánica estadística, probabilísticos.

Con la relatividad de Einstein la luz pasa de ser un fenómeno de partículas a ser una dualidad de onda-córpúsculo. El espacio y tiempo absolutos de Newton se reemplazan por una velocidad absoluta y queda establecido que la causa de la ley de gravitación radica en la geometría del espacio.

Las discusiones sobre su contenido nacen con la teoría misma: ¿Es causal la interpretación probabilística de las funciones que describen el movimiento de las partículas en el nivel microscópico? ¿sobrevive aún este aspecto tan ligado al newtonianismo? Nuestro siglo ha respondido sólo parcialmente a estas preguntas.

Vista en conjunto, la física contemporánea se presenta como el desarrollo del newtonianismo llevado a sus consecuencias más radicales: todos los aspectos básicos de su obra han sido reinterpretados y criticados. Sin embargo, *Newton todavía está allí*. La mecánica relativista rodea a la mecánica clásica; basta considerar en sus ecuaciones la velocidad de la luz como infinita para reencontrar las formulaciones de esta última. Lo mismo sucede con la mecánica cuántica; haciendo cero la constante de Plack, restituimos la continuidad, recuperamos el universo clásico. Ha sido frente a los nuevos fenómenos del mundo microscópico que la física ha requerido expandir los conceptos newtonianos; pero la explicación de todos aquellos problemas que ya conocíamos forma parte de estas teorías. Éste es el sentido último de la unidad que hemos destacado aquí: la coherencia interna de la física, la relación dinámica entre sus conceptos, descansa sobre el saber

acumulado a lo largo de su historia y como en la obra de Newton, esta unidad es sinónimo de generalidad.

También en nuestro siglo, como en el XIX, el conocimiento y la técnica están íntimamente relacionados. El circuito que va sin cesar, en el pensamiento científico de la teoría a la técnica y de los resultados técnicos nuevos a las refundiciones teóricas, se sucede ahora vertiginosamente: los conocimientos se transforman con celeridad en instrumentos, y a través de ellos abrimos nuevas trayectorias para el pensamiento. Nuestras sociedades se mueven poniendo en acción las tres certezas newtonianas maduras por tres siglos: **El impulso del pensamiento científico en sus formas contemporáneas se revela como una solidaridad del genio y de la técnica. La naturaleza es entonces dos veces vencida; vencida en su misterio y vencida en sus fuerzas. El hombre ordena la naturaleza poniendo a la vez orden en sus pensamientos y orden en su trabajo.**

BIBLIOGRAFÍA

- Bachelard, G. *La actividad racionalista de la física contemporánea*, Ed. Siglo XX, Buenos Aires, 1975.
- Morris, D., *The Reenchantment of the world*, Cornell Univ. Press, Ithaca y Londres, 1981.
- Cassirer, E., "El problema del conocimiento en la filosofía y la ciencia contemporánea", *Filosofía de la ilustración*, FCE, México, 1975.
- Descartes, R., *Meditaciones metafísicas con objeciones y respuestas*, Alfaguara, Madrid, 1977. *Histoire de la Mécanique*, Editions du Griffon, Neuchâtel, 1950.
- Forman, P., *Cultura en Weimar, casualidad y teoría cuántica: 1918-1927*, Alianza, Madrid, 1981.
- Leibniz, G., *Monadología*, Aguilar, Madrid, 1980.
- Mach, E., *The science of mechanics: a critical and historical account of its development*, Open Court, LaCalle, EU, 1960.
- Newton, I., *Mathematical principles of natural philosophy*, Univ. of California Press, Berkeley, 1962. *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, Ed. Alfaguara, Madrid, 1977.
- Hall, A. R., *From Galileo to Newton*, Dover, New York, 1981.



75. Gauguin, *Tour de Pout, Jean Lechade en 1888*, 66 x 100 cm. Universidad de Birmingham, Barber Institute of Fine Arts.