

# ¿CUÁL ES EL SENTIDO DE LA FÍSICA?

*Preguntas imposibles, recompensas inesperadas y la búsqueda inacabable para comprender*

*La pregunta ha estado rebotando durante décadas por las aulas de las escuelas. La respuesta que generalmente se proporciona suele empezar con un cuento apócrifo en el que intervienen el legendario filósofo griego Arquímedes y la corona del rey Hierón.*

Hierón había accedido al trono de la ciudad siciliana de Siracusa. Dio a un artesano una determinada cantidad de oro para que le moldeara una corona; cuando la corona llegó, también lo hizo un rumor de que el artesano había sustituido algo del oro por plata. Hierón encargó a Arquímedes, que entonces tenía poco más de veinte años, que descubriera la verdad.

La historia, tal como la relata el escritor romano Marco Vitruvio Polión, dice que Arquímedes se dio cuenta de cómo resolver el problema cuando advirtió el volumen de agua que su cuerpo desplazaba en una bañera. La plata, al ser menos densa que el oro, desplazaría menos agua. Arquímedes realizó una serie de experimentos que implicaban sumergir fragmentos de plata y oro que pesaban lo mismo que la corona para ver cuánta agua desplazaba cada uno. Esto le permitió decir si había plata en la corona. En su alegría, Arquímedes salió desnudo a la calle, gritando: «¡Eureka!» («¡Lo encontré!»).

¿Es éste el sentido de la física, dar respuesta a preguntas que aparentemente no la tienen? Ahora podemos observar nuestro entorno a través de una extraordinaria gama de escalas. Allí donde antaño pensábamos que la materia era indivisible, nos hemos hecho cada vez

más pequeños, hasta el nivel del átomo, y más allá todavía, hasta las partículas más fundamentales, y en último término hasta una concepción en la que la materia se halla realmente compuesta por fluctuaciones en la energía del espacio vacío (véase *¿Son los sólidos realmente sólidos?*). El cielo fue antaño el límite de nuestra visión; ahora sabemos que el universo es tan vasto que a la luz le tomaría cerca de 28.000 millones de años atravesarlo (véase *¿Soy único?*). Y, no debe olvidarse, comprender que la luz tiene una velocidad definida y constante es asimismo un triunfo de la física logrado a costa de mucho esfuerzo (véase *¿Podemos viajar a través del tiempo?*).

Sabemos mucho de la historia del universo, la naturaleza de la materia y la estructura de nuestro planeta, pero quizá la mayor lección que hemos aprendido es que, cada vez que pensamos que hemos explicado la naturaleza, nos sorprende de nuevo, revelando lo poco que realmente sabemos. Probablemente, Isaac Newton fue quien mejor lo dijo en sus memorias: «No sé qué le puedo parecer al mundo —escribió—, pero a mí me parece que sólo he sido como un niño jugando en la playa y divirtiéndome al encontrar de vez en cuando un guijarro más liso o una concha más bonita de lo normal, mientras que el gran océano de la verdad se hallaba ante mí, sin descubrir».

*«No sé qué le puedo parecer al mundo —escribió—, pero a mí me parece que sólo he sido como un niño jugando en la playa y divirtiéndome al encontrar de vez en cuando un guijarro más liso o una concha más bonita de lo normal, mientras que el gran océano de la verdad se hallaba ante mí, sin descubrir.»*

ISAAC NEWTON

## Una alternativa a la superstición

Si hay un aspecto de los logros de la física que Newton apreciaba quizá menos que la mayoría, era la capacidad de la materia de cortar a través del misticismo y la superstición. Newton era un gran alquimista y un erudito de la Biblia; consideraba que sus escritos sobre el libro de Daniel del Viejo Testamento constituían la mayor de sus obras. Siempre que la física amenazaba con poner en duda asuntos espirituales, Newton reculaba. «Yo he estudiado estas cosas; vosotros

no», era su réplica constante a las críticas que los astrónomos hacían a la religión. Newton dejó margen para la obra de Dios en el funcionamiento de su «universo como gran mecanismo de relojería», pero el desarrollo de la física pronto desplazó a la mano divina. Cuando el emperador Napoleón le preguntó a Pierre-Simon Laplace acerca de su tratado sobre la mecánica celeste, que acababa de publicar, le hizo notar la ausencia de Dios en el mecanismo. Laplace replicó: «No tengo necesidad de tal hipótesis». El objetivo de la física, en muchos aspectos, es encontrar qué hay en el universo que sea explicable por un conjunto de leyes, y cuanto más simples sean dichas leyes, mejor.

Hasta aproximadamente el año 600 a.C., las civilizaciones desarrollaron tecnologías pero pensaron poco acerca de cómo explicarse el mundo: esto se dejaba para los profetas y los sabios. Y entonces aparecieron los milesios. La ciudad de Mileto, en la costa occidental de la actual Turquía, era la sede de un modo de pensar que los científicos de hoy en día reconocerían como un ansia de comprensión real y de primera mano. En lugar de tener los secretos del universo enmascarados por preocupaciones religiosas y místicas, los milesios buscaban leyes que explicaran los fenómenos de la naturaleza, y produjeron teorías sobre las causas de los terremotos, de los rayos y de la estructura del universo, entre otras cosas.

Los milesios debatían abiertamente dichas teorías, consideraban cómo podían comprobarse y aceptaban los resultados de los experimentos como árbitro de la verdad. Se atribuye a Anaxímenes de Mileto el haber realizado el primer experimento científico del mundo. Sus observaciones acerca de cómo la temperatura del aliento exhalado parece variar en función de si los labios se hallan fruncidos o completamente abiertos, le llevaron a la conclusión de que la compresión causa el enfriamiento y la expansión el caldeamiento.

El hecho de que Anaxímenes estuviera exactamente equivocado aquí es otra lección en el sentido de la física. Nos enseña que no podemos estar nunca seguros de nada que sea «sabiduría o creencia popular»; a menudo se comprueba que las teorías aceptadas, e incluso los «hechos» acerca de cómo funcionan las cosas en el universo, son erróneos y son suplantados por nuevas ideas. También éstas se hallan abiertas a la falsación. La física es un proceso de comprobarlo todo... especialmente aquellas cosas que más deseamos que sean ciertas.

Es por esta razón que la física se halla relativamente desprovis-

## PROPORCIONAR LAS LEYES POR LAS QUE FUNCIONA LA SOCIEDAD

James Wilson, que desempeñó un papel importante en la elaboración de la Constitución estadounidense y se convirtió en uno de los seis jueces originales del tribunal supremo de George Washington, se tomó a pecho las ideas de la física. Cuando definía el papel del gobierno en sus *Lecciones de Derecho* dijo: «Cada parte influye y es influida, sostiene y es sostenida, regula y es regulada por el resto... Hay una necesidad de movimiento en los asuntos humanos; y estos poderes se ven obligados a moverse, aunque sea conjuntamente».

La declaración de Wilson es digna de Isaac Newton: invoca las mismas leyes de la interacción que permitieron a Newton deducir cómo funcionaba el sistema solar. Lo que es más, la conexión entre Newton y la teoría política no es difícil de reseguir. Newton estuvo inspirado por Copérnico, quien reconoció la obra de Aristarco de Samos, que vivió en Grecia entre 310 y 230 a.C. Aristarco estuvo inspirado, a su vez, por Platón,

el filósofo, aristócrata y político griego. Se considera que la mayor contribución de Platón a la civilización es su *República*, un examen de la mejor manera de gobernar una sociedad. Pero Platón también era un astrónomo distinguido: por ejemplo, fue la primera persona que reconoció que las anomalías en el movimiento de los planetas podían resolverse encontrando alguna combinación de movimientos circulares.

Platón pensaba que la física era un adiestramiento excelente para un político. Los caudillos han de aprender ciencias físicas tales como la astronomía, declaró una vez Platón; no porque ayuden en la observación de las estrellas o la navegación, sino porque proporcionan una educación en las técnicas de pensamiento abstracto que son esenciales para el liderazgo. Las mismas habilidades son muy valoradas hoy en día: los físicos de profesión tienen mucha demanda fuera de las paredes del laboratorio: en las finanzas, en los negocios y en el gobierno.

ta de «santos científicos». No es tanto una disciplina de ideas como una disciplina de consensos a los que se ha llegado mediante el acopio de pruebas experimentales. A quienes no aceptan los resultados de los experimentos (y no aportan buenas razones de por qué otros debieran unírseles en el lado «equivocado» de la valla) se tiende a despacharlos sumariamente.

## Más que la suma de las partes

Los físicos Albert Einstein y Richard Feynman proporcionan una ilustración adecuada de la manera en que la física es mayor que cualquier físico. Aunque en la actualidad es venerado como un ídolo público, Einstein no murió siendo un héroe para otros físicos. Por el

contrario, se recuerdan los últimos años de su vida con un regusto de pesadumbre por su última investigación. La obra mejor conocida de Einstein la realizó al principio de su carrera. Hizo una contribución fundamental a la teoría cuántica con el descubrimiento experimental del fotón, el cuanto de energía (véase *¿Qué es la luz?*).

Esto echó por tierra la teoría, de varios siglos de antigüedad, de que la luz tenía que ser una onda. Después, su teoría de la relatividad especial cambió nuestra idea del tiempo. Su dilucidación de la idea de que masa y energía son intercambiables (véase *¿Por qué  $E = mc^2$ ?*) fue una revelación sobre las características fundamentales de la materia. La teoría de la relatividad general reescribió la obra gravitatoria de Newton después de casi cuatro siglos de aceptación (véase *¿Por qué cae una manzana?*).

Pero, después de esto, las ideas de Einstein fueron cada vez más irrelevantes para los físicos. La revolución cuántica cambió la faz del asunto, pero Einstein se resistió a aceptar la teoría cuántica como una manera útil de describir el universo. Pasó sus últimos años trabajando, en vano, en una teoría que tenía que unir el electromagnetismo y la relatividad y hacer de la teoría cuántica una innovación innecesaria. El número de físicos que trabajaban con él y lo apoyaban fue disminuyendo a lo largo de su vida.

Richard Feynman es quizá el segundo físico más famoso después de Einstein. Fue un gran divulgador de la física, un pensador grande e innovador y (lo más importante de todo) sigue siendo un gran héroe para los que trabajan en el campo. Feynman no alcanzó nunca las vertiginosas alturas de los logros de Einstein, pero hizo más que muchos, contribuyendo a la creación de la electrodinámica cuántica, o QED, una teoría que describe las interacciones de la luz y la materia (véase *¿Qué es la luz?*). Generalmente se la considera como la más exitosa de las teorías de la física.

«El primer principio es que no has de engañarte a ti mismo... y uno es la persona más fácil de engañarse.»

RICHARD FEYNMAN

grande e innovador y (lo más importante de todo) sigue siendo un gran héroe para los que trabajan en el campo. Feynman no alcanzó nunca las vertiginosas alturas de los logros de Einstein, pero hizo más que muchos, contribuyendo a la creación de la electrodinámica cuántica, o QED, una teoría que describe las interacciones de la luz y la

materia (véase *¿Qué es la luz?*). Generalmente se la considera como la más exitosa de las teorías de la física.

Una de las mayores virtudes de Feynman como físico fue su capacidad de escuchar las convicciones de sus iguales, inclinarse ante la ley de la evidencia y admitir que siempre estaba trabajando desde una posición de ignorancia. Es famosa su frase: «El primer principio es que no

has de engañarte a ti mismo... y uno es la persona más fácil de engañarse». Su renuencia a engañarse se resume en su evaluación de la teoría que se convirtió en la ruina de Einstein. «Pienso que puedo decir con seguridad que nadie entiende la mecánica cuántica —escribió en *El carácter de la ley física*—. No sigáis diciéndoos, si podéis evitarlo, “Pero ¿cómo puede ser así?”, porque os meteréis... en un callejón sin salida del que todavía nadie ha escapado. Nadie sabe cómo puede ser así.»

Ésta es la razón por la que el Einstein mayor no es reverenciado por los físicos, y Feynman lo es. Mientras que Einstein se metió en un callejón sin salida, Feynman admitió su comprensión limitada y siguió a otros cuando éstos hacían incursiones en nuevos territorios. Éste es otro componente del sentido de la física: progreso al construir sobre los logros de otros. Tal como Newton lo planteó: «Si he podido ver más lejos es sólo porque iba a hombros de gigantes».

«Si he podido ver  
más lejos es sólo  
porque iba a hombros  
de gigantes.»

ISAAC NEWTON

Gracias a la teoría cuántica, la física ha dado incluso el paso extraordinario de definir algunos límites para sí misma. El principio de incertidumbre de Heisenberg (véase *¿Acaso todo es, en último término, aleatorio?*) establece en piedra el hecho de que hay límites a lo que la física puede decirnos acerca de un sistema.

## Una disciplina humilde

Cuando examinamos las ecuaciones que rigen el movimiento de un electrón, pongamos por caso, podemos ver cómo nos dicen su momento o su velocidad. Sin embargo, no hay manera alguna en que nos puedan decir, con precisión, a la vez el momento y la velocidad. Ambos sólo pueden encontrarse con una precisión finita.

Werner Heisenberg vio el lado práctico de ello: existen límites a lo que nuestros experimentos pueden revelar. Si hacemos saltar un fotón de luz de un electrón, podremos inferir su posición, pero el fotón también habrá comunicado un cierto momento al electrón. Así, el acto de determinar la posición del electrón crea una incertidumbre en el valor de su momento. Y al revés, una medición del momento creará siempre una incertidumbre en la posición de una partícula. Ya consideremos la teoría o el experimento, hay limitaciones estrictas a

lo que podemos descubrir. La física, en muchos aspectos, es una disciplina humilde. Pero hay mucho ante lo que mostrarse humilde, como atestiguarán los físicos que hubo detrás de la bomba atómica.

Si hubiéramos planteado la pregunta «¿Cuál es el sentido de la física?» a los gobiernos occidentales después de la segunda guerra mundial, nos hubiéramos encontrado con la incredulidad de que siquiera hubiéramos tenido que preguntar. La física lo era todo, como la guerra había demostrado. La física nos había dado fantásticas innovaciones tecnológicas: el radar, los ordenadores, la bomba atómica y, desde luego, los televisores y los hornos de microondas. La física se afanaba en ser la impulsora de las economías y la protectora de las naciones. Sin embargo, si hubiéramos planteado la misma pregunta a los físicos, podríamos haber obtenido una respuesta algo más mitigada.

Inmediatamente después de la primera prueba de la bomba atómica en Nuevo México, Kenneth Bainbridge, un físico de Harvard, se volvió hacia Robert Oppenheimer, el jefe del proyecto. «Ahora todos somos hijos de puta», le dijo. Oppenheimer se las había con sus propias emociones en conflicto: décadas más tarde reconoció que todos sabían en aquel momento que el mundo nunca volvería a ser el mismo. Y, sin embargo, dijo Oppenheimer, si se encontrara en la misma situación volvería a hacerlo. «Si eres un científico, no puedes detener una cosa de este tipo —dijo en su discurso de jubilación, en 1945—. Si eres un científico, crees que es bueno descubrir cómo funciona el mundo... que es bueno traspasar a la humanidad en general el mayor poder posible para controlar el mundo.»

## El mundo en el bolsillo

¿Es éste el objetivo de la física, obtener el control sobre el mundo? Es cierto que la física (o, al menos, las aplicaciones industriales de la física) ha creado el mundo moderno. Si nuestra época puede definirse por una cosa, probablemente es la revolución de la microelectrónica: televisión, informática, internet y comunicaciones móviles, para no mencionar más que algunos aspectos. Todo ello se construyó sobre las espaldas de la física. Para ser más específico, se construyó sobre las espaldas de la tecnología del silicio. Durante la segunda guerra mundial, los que desarrollaron el radar trabajaron para crear cristales cada vez más puros de silicio y germanio para el equipo. Los físicos (por encima de todo los que trabajaban para los Laboratorios Bell, en los Es-

tados Unidos) continuaron dicho desarrollo después de la guerra, aprendiendo cómo convertirlos en «semiconductores» e incorporándolos a tecnologías que previamente habían necesitado amplificadores de válvulas ineficientes y voluminosos. Hacia 1952, los primeros productos electrónicos basados en el silicio llegaron al mercado: dispositivos de baja potencia y muy portátiles, como audífonos y radios de bolsillo. Un año después apareció el primer ordenador que funcionaba mediante transistores. Poco tiempo después, la gente empezó a referirse a la concentración de compañías de electrónica en una pequeña área de California del norte como *Silicon Valley*.

No es difícil ver el impacto de la física en nuestra vida. Los láseres proporcionan un ejemplo específico. Los láseres surgieron asimismo de los Laboratorios Bell y derivaron de la investigación en la tecnología del radar durante la época de la guerra. Desde su invención en 1957, se han hecho omnipresentes en nuestra vida cotidiana. Reproductores de CD y DVD, sistemas de comunicaciones mediante fibra óptica como la red telefónica, escáneres de comprobación de los supermercados, cirugía ocular e impresoras láser son sólo algunas de las aplicaciones.

Así pues, ¿es acaso el desarrollo de la tecnología el objetivo de la física? En absoluto. Las revoluciones tecnológicas del siglo XX se produjeron como un resultado, en último término, del descubrimiento (o la invención, si el lector lo prefiere) de la teoría cuántica. Ésta fue el resultado de intentar desenmarañar cosas que nadie comprendía, como por qué el espectro de la radiación emitido por un horno a 100 grados Celsius era el mismo que el espectro de radiación emitido por cualquier otra cosa a 100 grados Celsius, y no de intentar inventar específicamente nuevos dispositivos.

En esencia, nuestras tecnologías electrónicas modernas proceden de la teoría cuántica, que procedía de la termodinámica, el estudio del calor. Éste surgió del estudio de los gases, y así sucesivamente. La física es una reacción en cadena que se automantiene: cada descubrimiento provoca otro conjunto de preguntas, que provocan nuevos descubrimientos. Tal como dijo una vez George Bernard Shaw, «la ciencia nunca resuelve un problema sin crear otros diez».

## Una historia de nunca acabar

No se ve un final a las preguntas. A los físicos les gustaba decir que su trabajo ya estaba hecho. En 1894, el físico americano Albert Michelson



anunciaba que «Las leyes fundamentales y los hechos más importantes de la ciencia física se han descubierto ya, y éstos están en la actualidad establecidos de manera tan firme que la posibilidad de que alguna vez se vean suplantados como consecuencia de nuevos descubrimientos es enormemente remota». Durante la década siguiente, tuvimos las revoluciones gemelas de la relatividad y de la teoría cuántica.

En 1888, el astrónomo Simon Newcomb había anunciado el fin de la astronomía: en los cielos quedaban pocas cosas por descubrir, sugirió. Newcomb también estaba equivocado. Probablemente, nuestra concepción del cosmos ha cambiado de manera más radical desde la época de Newcomb que lo que hizo a lo largo de los miles de años de descubrimiento científico que tuvieron lugar antes de su nacimiento. Aunque los principales descubrimientos del último siglo nos demostraron de dónde venimos, subrayando toda la historia del universo, de nuestra concepción del mundo ha desaparecido la arrogancia; con el descubrimiento de que la mayor parte del universo se encuentra en una forma desconocida para la ciencia, los físicos aprecian ahora que han de habérselas con sólo un minúsculo porcentaje del universo.

Existe, hay que decirlo, un final a la vista: la teoría del todo. Si la física se inició con la búsqueda por parte de los milesios de las leyes que rigen los fenómenos naturales, llegará (teóricamente) a su final con el descubrimiento de una sola ley: la descripción última del universo. Dicha «teoría del todo» reducirá todas las partículas, las fuerzas que rigen sus interacciones y el espacio y el tiempo en el que su existencia se desarrolla, a una única descripción unificada (véase *¿Trata realmente de cuerdas la teoría de cuerdas?*).

Por el momento, estamos lejos de conseguir ese objetivo, pero aquí, quizá, hemos encontrado la verdadera finalidad y la esencia de la física: descubrir la magnitud de nuestra ignorancia, y hacer lo que podamos para reducirla. A veces, como ocurrió con la bomba atómica, hay que pagar un precio por este viaje de descubrimiento. A veces, como con el desarrollo de la mecánica cuántica, obtenemos unas enormes recompensas prácticas de ello. Pero la mayor parte del tiempo, nos dirán los físicos, la física trata simplemente de la emoción del descubrimiento; y después, de descubrir que nuestros descubrimientos han hecho que el mundo sea más interesante, no menos. Tal como dijo el poeta John Dryden, «La alegría de observar y comprender es el más bello regalo de la naturaleza».