



PAUL HALPERN

EL LABERINTO CUÁNTICO



Cómo RICHARD FEYNMAN *y* JOHN WHEELER
revolucionaron el tiempo y la realidad

CRÍTICA



El laberinto cuántico

Cómo Richard Feynman y John Wheeler
revolucionaron el tiempo y la realidad

Paul Halpern

Traducción castellana de
Joandomènec Ros

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: abril de 2019

*El laberinto cuántico. Cómo Richard Feynman y John Wheeler
revolucionaron el tiempo y la realidad*
Paul Halpern

No se permite la reproducción total o parcial de este libro,
ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión
en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico,
mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos,
sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción
de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito
contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes
del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos)
si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com
o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *The Quantum Labyrinth. How Richard Feynman and John Wheeler
Revolutionized Time and Reality*

© 2017 by Paul Halpern

This edition published by arrangement with Basic Books an imprint
of Perseus Books, LLC, a subsidiary of Hachette Book Group, Inc., New York,
New York, USA. All rights reserved.

© de la traducción, Joandomènec Ros, 2019

© Editorial Planeta S. A., 2019
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-091-8
Depósito legal: B. 5036 - 2019
2019. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

El papel utilizado para la impresión de este libro es 100% libre de cloro
y está calificado como papel ecológico.

El reloj de Wheeler

Este chaval del MIT: Mirad sus notas de la prueba de aptitud en matemáticas y física. ¡Fantásticas! Nadie de los que están matriculándose aquí en Princeton se acerca tanto al máximo absoluto... Tiene que ser un diamante en bruto. Nunca hemos dejado entrar a nadie con notas tan bajas en historia e inglés. Pero mirad la experiencia práctica que tiene en química y en trabajar con fricción.

JOHN A. WHEELER, sobre la reacción del Comité de Graduados a la solicitud de Feynman de ingresar en Princeton

John Wheeler sacó su reloj del bolsillo y lo puso sobre la mesa. Quería cronometrar la reunión con su nuevo doctorando colaborador en tareas docentes, Richard Feynman. Para un joven profesor ayudante que imparte asignaturas y tiene intereses de investigación, el tiempo es esencial. Dar clase requiere tiempo. La concentración profunda necesaria para abordar cuestiones fundamentales en física requiere tiempo. Escribir artículos requiere tiempo. Reunirse con los estudiantes requiere tiempo.

Asimismo, había un reloj que marchaba globalmente. Los nazis estaban avanzando y había que detenerlos. Si continuaban su conquista de Europa, era solo cuestión de tiempo que Estados Unidos se viera en la obligación de unirse al esfuerzo bélico. Combatir las armas mortíferas que posiblemente estaban desarrollando los nazis podría requerir nuevos hallazgos científicos. Tal como Wheeler había sabido en enero de 1939 por medio de su tutor Niels Bohr y del ayudante de Bohr, Léon Rosenfeld, investigadores en Alemania habían descubierto que los enormes núcleos de uranio podían dividirse bajo determinadas circunstancias, y liberar gran cantidad de energía en un proceso denominado «fisión».

La «reacción en cadena» que condujo a esta sorprendente noticia había sido rápida. La física austríaca Lise Meitner, que había trabajado con los químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann en el descubrimien-

to de la fisión, se lo había contado a su sobrino Otto Frisch. Radicado por aquel entonces en el Instituto de Física Teórica de Copenhague, Dinamarca, Frisch transmitió estos resultados a Bohr, su director. Dándose cuenta de inmediato de la importancia monumental de los mismos, Bohr se lo dijo a Rosenfeld y decidió hacer un anuncio durante un congreso inminente sobre física teórica, que tenía que celebrarse en la Universidad George Washington, en Washington D. C., el 26 de enero. Sin embargo, durante una reunión en el Journal Club del Departamento de Física de Princeton —celebrada el 16 de enero, el día en que Bohr y Rosenfeld llegaron a Estados Unidos—, Rosenfeld se fue de la lengua, con lo que Wheeler y otros de Princeton supieron acerca del descubrimiento de la fisión. Cuando Bohr anunció de manera pesimista los hallazgos en el congreso de Washington, la gravedad de sus palabras resonó en la comunidad física más amplia.

Muchos físicos que se enteraron de esta noticia, en particular los que hacía poco que habían huido de los regímenes fascistas de Europa, se horrorizaron ante la idea de que los nazis pudieran desarrollar una bomba que empleara la energía liberada al dividir núcleos atómicos. Entre los que estaban especialmente preocupados ante la perspectiva de un arsenal alemán de armas nucleares figuraban Enrico Fermi, que había huido a Estados Unidos desde la Italia de Benito Mussolini, así como Eugene Wigner, Leo Szilard y Edward Teller, todos ellos emigrados desde Hungría. Dos meses después del anuncio de Bohr, Fermi se reunió con funcionarios de la marina en Washington. Aquel verano, Szilard, acompañado de forma alternativa por Wigner y Teller, alertó a Albert Einstein, quien escribió una carta, que había de hacerse famosa, al presidente Franklin Roosevelt. Dada la amenaza nazi y la posibilidad de una implicación norteamericana, ¿quién podía saber cuándo el gobierno de Estados Unidos rogaría a los teóricos nucleares que abandonaran sus estudios abstractos y se dedicaran a la investigación militar?

Debido a su trabajo con Bohr, Wheeler se había convertido en uno de los principales expertos mundiales en fisión nuclear, y era probable que quisieran contar con sus conocimientos en el caso de que el país entrara en la guerra. La investigación conjunta de la pareja había empezado cinco años antes, en el otoño de 1934, cuando Wheeler visitó el instituto de Bohr. Recién acabados sus estudios de doctorado en la Universidad Johns Hopkins, bajo la dirección del físico austríaco-estadounidense Karl Herzfeld, y un trabajo posdoctoral en la Universidad de Nueva York, bajo la tutoría de Gregory Breit, Wheeler estaba ansioso por desc-



Retrato informal de John Archibald Wheeler en el Instituto Niels Bohr de Física Teórica en Copenhague, a mediados de la década de 1930.
(Fuente: AIP Emilio Segrè Visual Archives, Wheeler Collection.)

frar los misterios del núcleo atómico. Consideró que un aprendizaje con Bohr, el sabio venerado de la física cuántica que atraía a científicos de todo el mundo, era la manera ideal de obtener experiencia en el tema. Wheeler trabajó en Copenhague hasta junio de 1935, centrándose en las interacciones entre los núcleos y los rayos cósmicos (partículas energéticas procedentes del espacio).

El estilo de investigación de Bohr ejerció un poderoso efecto sobre Wheeler. Aunque era conocida su voz suave y tenía la reputación de hablar entre dientes, Bohr tenía facilidad para plantear agudas preguntas que revelaban nuevas maneras de pensar sobre un tema. Tal como Wheeler recordaba, «Bohr tiene esta aproximación inquisitiva a todo, quiere ir al meollo del asunto y simplemente probar los límites más alejados hasta donde algo puede defenderse».¹

A su regreso de Europa, Wheeler disfrutó de una temporada de tres años en la Universidad de Carolina del Norte, en Chapel Hill, antes de ser nombrado profesor ayudante en Princeton en el otoño de 1938. Incluso antes de que Bohr anunciara el programa de fisión alemán, los tiempos eran alarmantes para la región. El día de Halloween de aquel año, un informe de la radio alertaba de una invasión marciana en la cercana Grover's Mill. La noticia, falsa, contó en la autorizada voz de Orson Welles y provocó el pánico. La reacción aterrorizada del público reflejaba un temor generalizado ante nuevas y devastadoras armas. Cuando, varios meses después, Bohr alertó a los físicos en el congreso de Washington sobre el descubrimiento de la fisión nuclear en Alemania y de la posibilidad concomitante de que los nazis construyeran bombas atómicas, las peores pesadillas de todo el mundo contenían visiones de ataques terroristas devastadores.

Bohr permaneció en Princeton desde enero hasta mayo de 1939, trabajando en un despacho en el mismo piso que el de Wheeler, en el edificio que entonces se conocía como Fine Hall, y residiendo en el Nassau Club. Al intentar determinar los mecanismos precisos de la fisión, los dos hombres emplearon el «modelo de la gota líquida» de Bohr, una imagen flexible del núcleo como algo parecido a una yema de huevo distendida que si se estiraba lo suficiente podía dividirse. Tras trabajar juntos a lo largo de la primavera de 1939, determinaron de manera precisa las condiciones bajo las cuales podría ocurrir la fisión cuando una muestra de uranio es bombardeada con neutrones, ya fueran rápidos (de elevada energía) o lentos (de baja energía).

Wheeler dibujó imágenes de las barreras de energía que los neutrones necesitarían atravesar para los diversos isótopos (tipos nucleares) de uranio con el fin de impactar en sus núcleos y dividirlos. Modeló dichas barreras como algo parecido a colinas a las que unos esquiadores necesitaban ascender antes de alcanzar una cumbre y empezar un descenso rápido. Para el isótopo más común, uranio-238, la colina inicial era muy empinada y requería neutrones rápidos (parecidos a esquiadores olímpicos) para hacer el salto. Para un isótopo raro, el uranio-235, la barrera era más baja y vadeable por neutrones lentos: algo parecido a esquiadores inexpertos. Por lo tanto, Bohr y Wheeler llegaron a la conclusión de que el uranio-235 se podía fisiónar mucho más fácilmente que el uranio-238. Además, descubrieron que un determinado isótopo artificial, llamado plutonio-239 y que todavía no se había producido, podría dividirse de manera similar empleando neutrones lentos.

Dado que el proceso de fisión crea más neutrones, estos, si se reduce su velocidad, podrían inducir la desintegración de otros núcleos, lo que en determinadas circunstancias conduciría a una reacción en cadena y a la producción controlada de energía... o quizá a una enorme explosión. Bohr y Wheeler publicaron sus resultados en un artículo trascendental, «El mecanismo de la fisión nuclear», que apareció el 1 de septiembre de 1939 —precisamente la fecha en que Adolf Hitler invadió Polonia y la segunda guerra mundial empezó en Europa—. Sus hallazgos se demostrarían más tarde indispensables para el Proyecto Manhattan, el programa estadounidense en época de guerra para desarrollar una bomba nuclear.

Aquel otoño, Wheeler había abandonado su trabajo colaborativo y estaba ansioso por dejar su propia marca en la física teórica. También esperaba convertirse en un tutor de confianza, como Bohr lo era para él, con los elementos ideales para un profesor: reflexión profunda y cálculos tranquilos en el lado privado, pedagogía equilibrada de manera precisa en el lado público. Mantener esta simetría requería una sincronización perfecta; de ahí el reloj sobre la mesa.

Con solo veintiocho años, Wheeler apenas sabía que le quedaban casi siete décadas en esta tierra para reflexionar sobre cuestiones desconcertantes, tales como «¿Por qué existimos?» —como se preguntaría a menudo en sus años posteriores—. El Wheeler mayor podría haber aconsejado a su yo más joven que se relajara y gozara de sus interacciones con los estudiantes. Pero a medida que el segundero daba vueltas una y otra vez solo para hacer que el minuterero avanzara cada vez más, el joven Wheeler se tomó muy en serio la tarea de equilibrar sus responsabilidades.

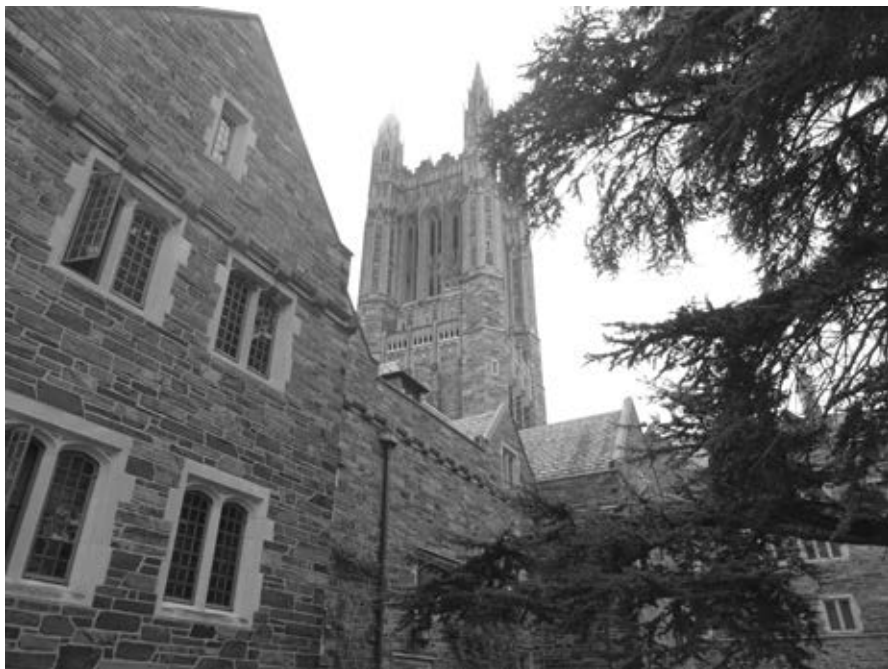
TONTERÍA EXCELENTE

El despacho de Wheeler en aquel entonces, el 214, se hallaba en el segundo piso de Fine Hall, así llamado en honor a Henry Burchard Fine, el fundador del Departamento de Matemáticas de Princeton, que había muerto trágicamente en 1928 atropellado por un coche mientras iba en bicicleta. El edificio, un recargado templo dedicado a la investigación matemática, había sido financiado mediante una donación de su amigo Thomas D. Jones. Pero sus funciones se extendieron también a la física teórica. Cada despacho incluía revestimiento de roble, una pizarra, archivadores integrados y ventanas que daban a un frondoso rincón del campus de Princeton. El fresco aroma del otoño se mezclaba con el olorcillo

del polvo de tiza mientras los profesores intentaban representar a través de sus garabatos el mundo natural exterior. Era un lugar espléndido para llevar a cabo investigación fundamental.

Jones, el matemático Oswald Veblen y otros habían diseñado Fine Hall para que fuera tan adecuado para la colaboración como fuera posible. A tal fin, un acogedor salón de té, donde los profesores se podían reunir y discutir ideas, remataba la serie rectangular de despachos en el segundo piso. Grabada sobre la chimenea de esta habitación había una inscripción en alemán tomada de una de las conferencias de Einstein: «Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht» («El Señor es ingenioso, pero no es malicioso»). La máxima reflejaba la creencia de Einstein de que aunque la búsqueda de las ecuaciones adecuadas de la física teórica podría presentar muchos giros, vueltas y callejones sin salida, la naturaleza sería cruel si no proporcionara una solución última.

Las escaleras y los corredores interconectados del edificio eran lugares de paso muy frecuentados. Profesores y alumnos se solían retirar al tercer piso, donde una amplia biblioteca contenía miles de volúmenes relacionados con las matemáticas y la física. A veces se dirigían abajo, a la primera



Facultad de Graduados de Princeton. (Fuente: Fotografía de Paul Halpern.)

planta, para asistir a seminarios en el auditorio central. O, como hacían Bohr y Wheeler cuando trabajaban juntos, caminaban por los pasillos circulares del segundo piso, enfrascados en la discusión. Tal como se concibió, el edificio latía con el flujo circulatorio de los investigadores: arriba, abajo y alrededor.

Para promover la colaboración entre matemáticos y físicos, un puente conectaba Fine Hall con el Laboratorio Palmer, el principal centro de física, donde se daban clases y se hacía investigación. Dada la necesidad de un sitio amplio para el equipo, Palmer era mucho más espacioso. Para inspirar a los experimentadores, las estatuas de dos titanes de la física norteamericana (Benjamin Franklin y Joseph Henry) flanqueaban la entrada principal del edificio.

Cuando conoció a Wheeler, Feynman se sorprendió de la juventud de este. No era como aquellas estatuas de profesores que aún conservaban su apariencia mucho después de la plenitud de su vida; sino que su aspecto resultaba muy juvenil y vital. Feynman se sintió muy cómodo. Después observó que Wheeler sacaba el reloj y lo ponía sobre la mesa para cronometrar su reunión. Discutieron las responsabilidades de Feynman e hicieron planes para volver a reunirse.

No muy seguro de qué significaba el reloj, Feynman decidió jugar al mismo juego. Compró un reloj barato y se preparó para su siguiente encuentro. La segunda vez que se reunieron, tan pronto como Wheeler puso la mano en el bolsillo, Feynman hizo lo mismo. El reloj de Feynman siguió inmediatamente al de Wheeler sobre la mesa, como un movimiento de réplica en una partida de ajedrez.

La traviesa imitación hizo añicos la formalidad de su relación. Wheeler empezó a reír con ganas. Feynman también lo hizo. Los accesos de risa histérica parecían no acabar nunca, pues cada uno hacía todo lo que podía para desternillarse más que el otro. La reunión había degenerado en pura tontería.

Finalmente, Wheeler decidió que ya era hora de volver al trabajo. «Mira, hemos de ponernos serios y seguir adelante», dijo.²

«Sí, señor», replicó Feynman con una sonrisita, y ambos volvieron a reírse a carcajadas. Una y otra vez, reunión tras reunión, las discusiones conducían a chistes, accesos de risa que los dejaban sin aliento, súplicas entrecortadas de seriedad, y de nuevo vuelta al discurso creativo. Feynman estaba acostumbrado a cambiar de registro; su madre, Lucille, solía bromear, y su padre, Melville, era científico y serio. Con Wheeler, Feynman podía expresar ambas caras de su personalidad. El camino estaba preparado para una amistad larga, productiva... pero a menudo llena de tonterías.

LA MECÁNICA DE ENSEÑAR MECÁNICA

Wheeler se sentía orgulloso de enseñar e impartía lecciones bien estructuradas de mecánica clásica. Planteaba problemas exigentes para que los estudiantes los resolvieran en casa. Cuando los entregaban, era el turno de Feynman para poner a prueba la capacidad de los alumnos. Leía de manera detenida y meticulosa los trabajos, buscando señales de fallos lógicos o de errores de cálculo, escribía comentarios detallados en los márgenes y devolvía a su tutor montones de trabajos corregidos minuciosamente. Los estudiantes tenían pocas probabilidades de salir airosos con trabajos descuidados o planteamientos erróneos.

Satisfecho de que su profesor ayudante hiciera un trabajo tan ejemplar, Wheeler incluso permitió que Feynman impartiera al menos una de las clases de mecánica, lo que le brindó una valiosa experiencia docente. Sintiendo honrado por la invitación, Feynman se pasó toda la noche preparando la lección. Escribió a su madre que estaba orgulloso de la clase, que se desarrolló «de forma magnífica y fluida»,³ y que esperaba que algún día impartiese muchas como aquella. Bajo la tutela de Wheeler, y después por su cuenta, las explicaciones de concepto físicos de Feynman llegarían a ser famosas.

Una de las características distintivas de Wheeler como profesor, que tuvo una profunda influencia en Feynman, fue el uso de ingeniosos diagramas. Cuando estructuraba una idea, casi siempre empezaba con un esquema, delineando los actores implicados y sus interacciones, como si planeara una estrategia de fútbol. Tal como contó más tarde: «No sé cómo pensar sin imágenes».⁴

Ambos físicos consideraban que enseñar un tema era la mejor manera de aprenderlo. Esto podría parecer paradójico: ¿cómo se puede explicar algo si no se es un experto? Ciertamente, en el caso de algo relativamente estático, como el latín o el griego antiguo, uno necesita dominar la materia antes de impartir una clase magistral. Sin embargo, la física se construye desde cero, mediante principios fundamentales que podrían enunciarse o interpretarse de muchas maneras. Incluso los conceptos que suelen abordarse en las primeras semanas de un curso introductorio, como fuerza e inercia, tienen matices.

Inercia es la propiedad de que los objetos en reposo permanecen quietos, mientras que los que están en movimiento siguen desplazándose a la misma velocidad en la misma dirección, a menos que sobre ellos actúe una fuerza externa. Esta es la razón por la que, en una bolera, una bola

que rueda por una superficie plana y sin fricción sigue moviéndose en línea recta antes de golpear los bolos. Por extraño que parezca, no es una fuerza, sino la falta de fuerza lo que hace que la bola se dirija ininterrumpidamente hacia su objetivo. De manera intuitiva pensamos que esto lo debe estar haciendo una fuerza, pero la realidad nos dice otra cosa. Ayudar a los estudiantes a comprender esta distinción es un reto intelectual que hace que la mente piense en otros aspectos del mundo físico. Explicar dichas ideas podría revelar nuevas conexiones que diluciden el funcionamiento fundamental de la naturaleza.

Por ejemplo, planificar el curso de mecánica hizo que Wheeler y Feynman discutieran el principio de Mach, la idea de que las estrellas distantes, de alguna manera, causan inercia. En contraste con Isaac Newton, cuya física plantea la inercia en términos de abstracciones denominadas «espacio absoluto» (referencias fijas) y «tiempo absoluto» (relojes abstractos que funcionan igual en todas partes y en todos los tiempos), el físico Ernst Mach propuso que la inercia debe tener una causa física. Conjeturó que los tirones combinados de cuerpos remotos inducen a un objeto estacionario a que permanezca en reposo, y a un objeto móvil, a que mantenga su velocidad.

LA VISIÓN CÓSMICA DE EINSTEIN

Como Wheeler sabía muy bien, la teoría general de la relatividad de Einstein —su magistral conjunto de ecuaciones que describen la gravitación— intentaba comprobar el principio de Mach y desechar la idea nada física de Newton de un armazón absoluto e invisible para medir la inercia. Este último imaginaba que las distancias espaciales y las duraciones temporales eran invariantes de un punto a otro y de un momento a otro, como las coordenadas fijas que usan los matemáticos. Nada físico puede afectar a estas referencias inertes. En fuerte contraste con las varas de medir permanentes y de acero de Newton, en la relatividad general, materia y energía deforman el tejido del espacio-tiempo (el espacio y el tiempo combinados), como un pesado nido en la endeble rama de un árbol.

Además de proscribir el espacio y el tiempo absolutos, el uso de la geometría que hacía Einstein para explicar la gravedad eliminaba otro misterio de la física newtoniana, llamado «acción a distancia»: fuerzas, tales como la gravitación, que actuaban al instante y remotamente. Para cualesquiera dos objetos voluminosos, Newton imaginaba una especie de

«hilo» abstracto que los conectaba mediante su gravitación mutua. Nada tangible en el espacio serviría como intermediario.

En el enfoque de Newton, la atracción instantánea a grandes distancias encamina a los planetas en sus órbitas alrededor del Sol. Si el Sol desapareciera de repente, los «cuerdas» desaparecerían y los planetas empezarían a moverse inmediatamente en líneas rectas, siguiendo su propia inercia. Este cambio de comportamiento ocurriría incluso antes de que los últimos rayos solares alcanzaran cada planeta, pues la luz tarda un tiempo en desplazarse.

Pensando que esta acción instantánea y remota no era física —algo así como la telepatía—, Einstein construyó la relatividad general de tal manera que el tejido arrugado del espacio-tiempo sirve como mediador. La presencia enorme del Sol crea un pozo gravitatorio al deformar el espacio-tiempo a su alrededor, de manera algo parecida a cuando entramos en una bañera y desplazamos el agua. Estas perturbaciones se propagan desde el origen y afectan al movimiento de otras cosas. En la bañera, esto puede significar que los patitos de goma, las barquitas y otros juguetes que flotan empiecen a moverse de arriba abajo. En el caso del sistema solar, la perturbación gravitatoria del Sol irradia hacia fuera a través del espacio-tiempo a la velocidad de la luz, lo que crea depresiones que fuerzan a los planetas a desplazarse en órbitas curvadas. Estos últimos se esfuerzan para desplazarse en línea recta, pero la geometría deformada en sus regiones los obliga a seguir líneas curvas.

Después de completar la teoría general de la relatividad en 1915, Einstein intentó usarla para modelar un universo que es estático en general. Al creer en un determinismo inalterable y en leyes cósmicas eternas, esperaba que aunque la masa pudiera causar perturbaciones locales, el estado global del cosmos permaneciera inalterado a lo largo del tiempo. En otras palabras, aunque las estrellas podrían desplazarse en el cielo, su comportamiento conjunto, tomado en promedio, representaría un universo tan invariable como un bloque de granito. La permanencia no estaría determinada de antemano, como en el constructo de Newton, sino que sería una consecuencia física natural de la teoría.

Pero, con gran decepción de Einstein, las ecuaciones que compuso se rebelaron contra esta rigidez. Sus soluciones ilustraban un universo que o bien se expande o se contrae con el tiempo. En física, la solución de una ecuación es una descripción matemática que coincide correctamente, como una llave que abre una cerradura determinada. Einstein intentó encontrar el ajuste perfecto con un universo estático, pero solo podía hacer-

lo alterando sus ecuaciones originales, algo parecido a pedirle a un cerrajero que cambie una cerradura para que se acomode a una vieja llave muy querida. La adición que hizo Einstein, denominada «término de la constante cosmológica», era un «factor amañado» adicional, incluido de forma específica para contrarrestar los efectos desestabilizadores de la gravedad y para producir la respuesta que él esperaba. De hecho, produjo soluciones estáticas, pero a costa de hacer que la teoría fuera algo más compleja. Además, el descubrimiento que en 1929 hizo el astrónomo Edwin Hubble —ayudado por el trabajo de otros astrónomos como Vesto Slipher— de que todas las galaxias distantes se alejan unas de otras —y de nosotros— demostraría que el espacio crece efectivamente a lo largo del tiempo. Esto hizo que Einstein eliminara el término adicional y aceptara que el cosmos se expande. Por lo tanto, nunca consiguió su objetivo de vindicar las ideas de Mach sobre la inercia.

Ante estos acontecimientos, Wheeler debatió con Feynman si el principio de Mach tenía todavía sentido y, si era así, cuál era su base física. Le encantaba sacar a colación con Feynman —y con otros— cuestiones filosóficas abstrusas y pensar en maneras de ponerlas a prueba. A Feynman no le gustaban las abstracciones, pero le encantaba la parte de las pruebas. Esta es una de las razones por las que constituían una buena pareja.

Tal como señaló el físico Charles Misner, que fue alumno de Wheeler en la década de 1950, «Wheeler estaba muy influido por Niels Bohr,⁵ al que consideraba su segundo tutor. Bohr pertenecía definitivamente a la escuela de pensamiento europea: [ponía énfasis tanto en los aspectos] filosóficos como en los técnicos [de la física]. La mayoría de físicos norteamericanos [como Feynman] pensaban que todos los argumentos acerca de la interpretación [abstracta, filosófica] de la mecánica cuántica eran irrelevantes para lo que estaban haciendo».

PIMPÓN DE PARTÍCULAS

El diálogo humano es como una partida de tenis de mesa. Una interacción típica podría incluir una transmisión de ideas, un intercambio de bromas, charlas sobre cuestiones personales u otros innumerables modos de conversación. Un jugador sirve, y el otro devuelve, como en una partida de pimpón. Después, el primero responde al juego del segundo, este devuelve, y así sucesivamente hasta que el tema se agota. Wheeler y Feynman se convirtieron en expertos en adecuar su juego al estado de ánimo

de la época, yendo si era necesario de las ocurrencias a las intuiciones, y lanzándolas en una dirección y en otra hasta que llegaba el momento de pasar a otro tipo de golpe definitivo.

Las partículas elementales interactúan de manera parecida entre sí en pares mediante una especie de intercambio. Sin embargo, a diferencia de las transacciones humanas, las interacciones entre partículas solo tienen unas pocas clases fundamentales. En la actualidad conocemos que la naturaleza ofrece cuatro tipos básicos: gravitación, electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuerte y débil. En la época de los estudios graduados de Feynman, estas dos últimas —que se refieren a las maneras en que los núcleos pueden unirse o desintegrarse— se comprendían más bien poco; Feynman ayudaría a descifrarlas en años posteriores. Los físicos ni siquiera sabían si se trataba de interacciones separadas o de la misma fuerza. Más bien hablaban de la «fuerza de mesón» como el medio por el que protones y neutrones (las partículas nucleares o «nucleones») se agrupan mediante el intercambio de mesones. Hoy en día sabemos que otras partículas, denominadas «gluones», realizan esta adherencia mutua y que todavía otras partículas, llamadas W^+ , W^- y Z^0 , transmiten la fuerza débil que induce la desintegración. Wheeler había pasado gran parte de su tiempo con Bohr intentando comprender por qué los núcleos a veces se unen fuertemente y otras veces se separan. Sus modelos funcionaban de manera empírica, pero seguían sin ser completos.

Wheeler poseía una mente inquieta y una imaginación activa. Emitía una idea tras otra como un horno abrasador avivado por energía atómica. Nunca le gustó limitarse a un tema. Ni siquiera quería restringirse al estudio de una única fuerza elemental. A lo largo de toda su vida, sus intereses habrían de girar alrededor de las interacciones nucleares, electromagnéticas y gravitatorias.

En una época distinta, la idea de desarrollar una teoría unificada de todas las fuerzas podría haber atraído a Wheeler. Sin embargo, veía cómo Einstein, en el cercano Instituto de Estudios Avanzados, se daba cabezazos contra la pared, una y otra vez, precisamente con estos intentos, y por lo general caía en el ridículo por hacerlo. Einstein esperaba de manera resuelta que, de alguna manera, pudiera expandir la relatividad general en una teoría del todo: que describiera de manera geométrica todas las fuerzas al tiempo que eliminara la necesidad de la teoría cuántica probabilística.

Wheeler y Einstein vivían en el mismo barrio, compartieron una breve temporada el segundo piso de Fine Hall antes de que el instituto se trasladara a su actual emplazamiento, y se conocían bien. Habiéndose esforza-

do en vano para dicha unificación desde mediados de la década de 1920, Einstein había ignorado en gran medida en sus trabajos los hallazgos modernos, como la física nuclear y de partículas. Debido a que los físicos, en su mayor parte, lo consideraban una reliquia, pocos se aventuraban en el ámbito esotérico de la teoría gravitatoria, que estuvo asociada con el éxito en la década de 1910, pero con la búsqueda fallida de Einstein desde entonces.

El mayor logro en la teoría gravitatoria de aquel período fue ignorado en gran medida. Un artículo del físico J. Robert Oppenheimer, de la Universidad de California en Berkeley, y de su alumno Hartland Snyder, «Contracción gravitatoria continuada», publicado el 1 de septiembre de 1939, demostraba que una estrella lo suficientemente grande, después de quemar su combustible nuclear, se colapsaría en un objeto compacto tan denso y potente desde el punto de vista gravitatorio que ni siquiera la luz podría escapar de él. En la década de 1960, Wheeler aprovecharía esta situación hipotética, la promovería usando el término «agujero negro», y centraría su atención en sus extrañas implicaciones. Pero en la década de 1930 sus intereses eran otros.

De manera simultánea, en la misma fecha en que apareció el artículo, Bohr y Wheeler publicaron en la misma prestigiosa revista, *Physical Review*, su influyente «El mecanismo de la fisión nuclear», que explicaba por qué determinados tipos de núcleos son más fáciles de dividir; la segunda guerra mundial empezó en Europa, y la familia Wheeler compró una impresionante casa nueva en el 95 de Battle Road, en Princeton, vendida por el instituto para edificar una urbanización. Ya era hora de que Wheeler explorara nuevas vistas teóricas, y Feynman sería el perfecto compañero de viaje.

LLOVIZNAS DISPERSAS

Mucho antes de dedicarse al estudio de la fisión nuclear, Wheeler había desarrollado un fuerte interés por la dispersión. La dispersión tiene lugar cuando unas partículas interactúan entre sí y son desviadas, como cuando una pelota, golpeada con una raqueta, sale rebotada en una dirección aparentemente al azar. Esto ocurre tanto en la escala clásica (rutinaria), como en la cuántica. A la física le gusta hacer predicciones, de modo que, en el caso de una maniobra de tenis, un teórico avisado podría emplear datos acerca de la aproximación de la pelota a la raqueta para calcular su des-

viación probable. Este es un problema clásico, que las venerables leyes del movimiento de Newton solventan perfectamente.

Wheeler estaba más interesado en la dispersión de Compton: un proceso cuántico al nivel subatómico que la física newtoniana no explicaba fácilmente. Identificado por el físico estadounidense Arthur Compton, que obtuvo el premio Nobel por su descubrimiento, el efecto Compton implica luz dispersada por un electrón. Si se hace incidir luz sobre un electrón, este adquiere energía y momento (masa por velocidad), que lo eleva en una dirección determinada, como una jabalina que es lanzada. En el proceso, emite luz de una longitud de onda (distancia entre picos) más larga que la original, dirigida en un ángulo diferente al del electrón. Para la luz visible, la longitud de onda corresponde al color, de modo que la luz emitida tendrá un tono diferente del original, desviándose hacia el extremo más rojo del espectro. Pero, normalmente, la dispersión de Compton utiliza rayos X, que son invisibles, en cuyo caso la luz emitida serán rayos X de una longitud de onda más larga.

La importancia del efecto Compton es que la teoría cuántica predice de manera precisa la diferencia entre las longitudes de onda inicial y final, junto con los ángulos de dispersión del electrón y de la luz emitida. La manera como efectúa esta hazaña revela la esencia de la idea cuántica, propuesta por primera vez por Max Planck en 1900 y refinada por Einstein en 1905 en lo que se llama el «efecto fotoeléctrico». El término «cuanto», que significa «paquete», se refiere a la idea de que la luz se presenta en paquetes de energía. Estas pequeñísimas cantidades de luz (ondas distribuidas en partículas como si fueran muelles Slinky encerrados en su caja) han acabado por denominarse «fotones». Puesto que la mayor parte del espectro luminoso es invisible, aparte del estrecho rango óptico de los colores rojo al violeta, la enorme mayoría de los fotones de la naturaleza son también invisibles.

Los fotones sirven como partículas de intercambio de la interacción electromagnética. Cada vez que una partícula cargada, como un electrón, atrae o repele a otra partícula cargada mediante electricidad y/o magnetismo, un fotón salta entre ellas. Sin este intercambio, las cargas se ignorarían mutuamente, y no habría atracción ni repulsión. Por lo tanto, si nuestro estimado imán del frigorífico se pega con fuerza, podemos agradecerlo a los fotones—invisibles, a diferencia de los ópticos— en su papel como portadores de fuerza electromagnética.

Tal como habían teorizado Planck y Einstein, la cantidad de energía por fotón depende de la frecuencia (tasa de vibración) de la luz con la que

está asociado. La frecuencia, a su vez, es inversamente proporcional a la longitud de onda (cuanto mayor es la longitud de onda, menor es la frecuencia, y viceversa). Por lo tanto, longitudes de onda largas, como las de las ondas de radio, corresponden a frecuencias bajas y energías bajas. Las longitudes de onda cortas, en cambio, como las de los rayos X, corresponden a frecuencias elevadas y altas energías. En la dispersión de Compton, el electrón engulle energía y momento del fotón incidente y escupe un fotón más débil de longitud de onda más larga. Los investigadores han medido el cambio de longitud de onda de Compton innumerables veces, y siempre concuerda con lo que esperaban de la ganancia de energía del electrón.

Al darse cuenta del virtuosismo matemático de Feynman —por ejemplo, su asombrosa facilidad para resolver integrales difíciles— y su aguda intuición sobre la física, Wheeler propuso que se embarcaran en un estudio de investigación conjunto sobre los procesos de la dispersión cuántica. «¡Todo es dispersión!», proclamaría Wheeler como su grito de guerra. Los problemas que Wheeler quería que Feynman investigara se remontaban a un congreso internacional de física al que asistió, que tuvo lugar en Londres y Cambridge en octubre de 1934, donde los investigadores discutieron la manera en que los rayos gamma (el tipo de fotones más energético) que incidían sobre plomo producían un tipo de «minillovizna» de partículas dispersas. Se percató de que el análisis de los subproductos de la dispersión ayudaría a afinar la caja de herramientas cuánticas.

Wheeler había sido el primero en proponer, en 1937, un método de recuento para tabular los resultados de la dispersión, que posteriormente se denominó aproximación de la «matriz S» (o matriz de dispersión). Equivale a computar los resultados de un juego de dardos según cuántos de ellos se clavaron en cada anillo concéntrico, así como en la misma diana. Para los dardos, tales datos podrían usarse para resolver la fuerza y la puntería de los jugadores. De manera similar, en los procesos de dispersión, la matriz S podría usarse para intentar reconstruir las interacciones que acontecen. Los físicos denominan «fenomenológicos» a estos análisis basados en el acopio de datos, en contraste con reflexiones teóricas más abstractas.

Wheeler y Feynman pasaron mucho tiempo discutiendo la galaxia de preguntas conectadas con varios tipos de acontecimientos de dispersión. Bajo la guía del maestro, Feynman acabó por conocer muy bien el método de la matriz S. También se aficionó a los diagramas que ilustraban la manera en que las partículas interactúan. Después de una breve inves-

tigación de los rayos gamma sobre el plomo, decidieron dedicarse a estudiar cómo electrones y fotones se escabullían como canicas desviadas a través de materiales con estructuras intrincadas. Este diálogo no se plasmó directamente en ninguna publicación, pero demostró ser una precuela para preguntas todavía más fundamentales acerca de cómo interaccionan los electrones.

LA PEONZA

En aquella época, la física de partículas experimental se producía mediante dos métodos. Uno era la observación de productos naturales de la desintegración, como las partículas producidas por sustancias radiactivas o por los rayos cósmicos que procedían abundantemente del espacio. Por ejemplo, el positrón (como un electrón, pero de carga positiva) se identificó al principio en un chorro de rayos cósmicos.

La alternativa a los métodos naturales que estaba apareciendo era encontrar una manera artificial de acelerar partículas, hacerlas chocar contra blancos y observar el residuo. El abuelito de este concepto era el famoso experimento diseñado por el físico neozelandés Ernest Rutherford, que bombardeó láminas de oro con partículas alfa —que resultaron ser núcleos de helio—. La inmensa mayoría atravesaron la lámina, pero una reducida minoría rebotó. Al dispersarse en ángulos agudos, revelaron la parte interna, compacta, de los átomos de oro, cargada positivamente: los núcleos del oro. Antes de este descubrimiento, los físicos habían supuesto que los átomos tenían un interior uniforme, como el denso relleno de una cereza cubierta de chocolate. El experimento de la lámina de oro demostró, por el contrario, que los átomos eran sobre todo espacio vacío, y que los núcleos eran partes minúsculas del todo. En lugar de una golosina rellena, imagine el lector la cáscara de un bombón de chocolate del tamaño de un dirigible, hueco casi por completo, con nada dentro excepto un diminuto hueso de cereza en el mismo centro. Esto nos da una idea del tamaño del núcleo, comparado con el átomo. Los sorprendentes resultados demostraron el valor de comprender el proceso de dispersión. No era extraño que Wheeler le hiciera hincapié a Feynman sobre su importancia.

En 1932, los investigadores ingleses John Cockcroft y Ernest Walton, que trabajaban en el Laboratorio Cavendish, en Cambridge, Inglaterra, a las órdenes de Rutherford, construyeron el primer acelerador lineal: un dispositivo que utilizaba impulsos eléctricos para acelerar proyectiles,

que eran partículas cargadas hasta las energías deseadas, antes de impactar sobre blancos. Los investigadores descubrieron que alinear varios impulsos consecutivos para crear un acelerador lineal más largo hacía que estos sistemas fueran más potentes todavía. Entonces se utilizaron para romper núcleos y explorar sus propiedades, como parte del ímpetu experimental subyacente al trabajo teórico de Bohr y Wheeler.

Otro avance importante en el diseño de aceleradores, desarrollado en la misma época que el mecanismo de Cockroft-Walton, fue el ciclotrón, del físico estadounidense Ernest Lawrence: un acelerador circular. En lugar de impulsos lineales consecutivos, un ciclotrón utiliza el mismo impulsor muchas veces. Unos imanes conducen a los bombarderos subatómicos para que se desplacen girando, y los exponen una y otra vez al impulso eléctrico, hasta que alcanzan la energía suficiente para liberarlos. Se precipitan sobre sus blancos, chocan contra ellos y generan valiosos datos mediante el análisis de los restos de la colisión. Más compactos que los aceleradores lineales, los ciclotrones se hicieron cada vez más populares a lo largo de la década de 1930. Muchas de las universidades más importantes, incluyendo el MIT y Princeton, poseían dichas máquinas.

Casi lo primero que hizo Feynman al llegar al Laboratorio Palmer fue preguntar para ver el ciclotrón de Princeton. El Departamento de Física lo envió al sótano, donde aquel estaba alojado. Feynman dio una vuelta por una zona de almacenamiento abarrotada y al final encontró el aparato. Ciertamente, no era lo que se había imaginado.

Feynman esperaba que el ciclotrón de Princeton fuera mucho mayor y llamativo que el del MIT. Sabía que había demostrado ser más efectivo a la hora de obtener resultados publicables. Pero, para su sorpresa, descubrió lo contrario. El aparato de destrozamiento de partículas de Princeton era un caos. Así lo recordaba:

El ciclotrón se encontraba en medio de la habitación. Había cables por todo el lugar, colgando en el aire, que alguien acababa de colocar. Y elementos para el agua: tenía que haber refrigeradores de líquido, y pequeños interruptores, de manera que si el agua se detenía se pusieran en marcha inmediatamente, y había una especie de tuberías y se podía ver ... agua que goteaba. Había cera por todas partes, colgando, allí donde reparaban las fugas. La habitación estaba llena de latas de película situadas sobre las mesas, en ángulos extraños ... Lo comprendí de inmediato, porque ... se parecía a mi laboratorio de cuando era niño, donde yo lo tenía todo desparramado por

el lugar ... Me encantó. Sabía que estaba en el lugar adecuado ... La respuesta es hacer chapuzas. Experimentar es hacer toda clase de chapuzas. Es ... totalmente falto de elegancia, y este era el secreto. De modo que Princeton me encantó desde un principio.⁶

Al ver el ciclotrón, Feynman se dio cuenta de inmediato de por qué John Slater en el MIT le había aconsejado que terminara sus estudios de graduación en Princeton. El laboratorio de física de partículas de Princeton tenía una cualidad improvisada que se había demostrado mucho más adecuada para obtener resultados. En opinión de Feynman, la física tiene que hacerse de una manera versátil, armando diferentes configuraciones, completando una prueba tras otra, hasta que un experimento produzca resultados concluyentes y reproducibles. Por lo general, esto implica una organización flexible. Al sentirse como un muchacho rodeado por un complejo juego de construcción, se sintió satisfecho por haber tomado la decisión adecuada.

Como aspirante a teórico —la dirección a la que parecía encaminarse bajo la guía de Wheeler—, Feynman no esperaba hacer uso del ciclotrón para acopiar datos. Aun así, aquel laberinto de tuberías y cables lo atraía como si fuera una habitación llena de juguetes. Al igual que Wheeler, incluso en medio de cálculos abstractos, soñaba con trastear con elementos reales, como había hecho de niño.

Un día, en la época en la que discutían el principio de Mach, Wheeler y Feynman se enzarzaron en una acalorada polémica acerca de los aspersores de jardín, en forma de «X», que giran. Era evidente que estos artilugios comunes funcionaban sobre la base de la tercera ley de Newton de acción y reacción. El agua que salía en caño de cada una de las cuatro espitas desencadenaba una reacción de igual intensidad, conocida como «retroceso», en la dirección opuesta. Así, los cuatro chorros de agua, que surgían en el sentido de las agujas del reloj, producirían automáticamente cuatro fuerzas de retroceso, que empujarían en sentido contrario al de las agujas del reloj, y que harían que todo el dispositivo girara repetidamente, como un derviche giróvago. Al norte, al sur, al este y al oeste, todo el césped quedaría empapado.

La inversión temporal resultaría un tema importante en la colaboración de Wheeler y Feynman. Lo contrario de expulsar agua es absorberla. Supongamos que las válvulas del aspersor absorbieran agua en lugar de expulsarla. Esto produciría un retroceso de un tipo distinto. ¿Acaso la reacción combinada haría también que el aspersor girara? Es decir, ¿con-

duciría la acción invertida en el tiempo de hacer brotar agua al resultado invertido en el tiempo: girar en la dirección opuesta? ¿O acaso giraría por el contrario en la misma dirección que en la admisión de agua? ¿O quizá todo sería un fiasco?

Wheeler y Feynman debatieron la cuestión durante un tiempo, vacilando acerca del resultado previsto. Como un abogado instruido, Feynman pensó en argumentos razonables para cada una de las posibilidades, lo que hizo que Wheeler acabara por volverse un poco loco. Wheeler preguntó su opinión a otros miembros del claustro, que dieron toda clase de respuestas. A buen seguro, resolver este enigma de jardinería no debería ser difícil.

Harto de los aspectos hipotéticos, Feynman decidió poner a prueba el asunto construyendo su propio artilugio en miniatura a partir de tubos de vidrio y una manguera de caucho. Lo instaló en la sala del ciclotrón, donde un enorme recipiente de agua, una damajuana, ofrecería una cantidad abundante de líquido. Para generar la presión necesaria y hacer que el agua fuera absorbida en lugar de expulsada, conectó la manguera al suministro de aire comprimido del ciclotrón. Fue aumentando gradualmente la presión del aire, pero apenas ocurría nada. Al final, dio toda la potencia. ¡Bum! El aparato explotó. Fragmentos de vidrio mezclados con agua afectaron al ciclotrón, lo que requirió una limpieza que llevó mucho tiempo. El Departamento de Física reprendió a Feynman y le prohibió acceder al laboratorio.

La solución correcta al problema del rociador inverso ha sido un tema de considerable debate a lo largo de los años. En circunstancias prácticas, debido a varios factores ambientales como la turbulencia de los fluidos, habría una diferencia pronunciada entre las dos direcciones.

EXPERIMENTOS CON EL TIEMPO

Feynman era un curioso nato, no solo acerca del mundo físico, sino también acerca de su conexión con el ámbito de la experiencia humana. Sin embargo, toleraba muy poco la especulación basada en el puro razonamiento, la intuición o los sentimientos. Consideraba que todo lo que era importante tenía que ser comprobable; de otro modo, ¿por qué perder el tiempo con conjeturas?

Una mezcla de antielitismo y de machismo, que conservaba de la timidez de sus días de instituto, pudo haber sido en parte lo que fomenta-

ba su desprecio por la erudición no científica. Le había aterrorizado que otros le pudieran ver como afeminado y amanerado: como una «nena-za». Aunque le gustaba mucho leer, temía ser visto como un estudioso, como lo que hoy se calificaría de bicho raro o empollón de la ciencia. Su relativa incompetencia en los deportes de equipo, como el béisbol, empeoraba todavía más las cosas. Los concursos de matemáticas no ofrecían la misma imagen varonil. Se sintió aliviado cuando se echó una novia, Arline Greenbaum —una artista en ciernes, dulce pero autoritaria, de Cedarhurst, Nueva York—, y pudo demostrar que era un «chico de verdad». Ella lo llamaba «Rich» (para los demás acabó siendo Dick); mientras que a ella Feynman la apodó «Putzie». Consiguieron mantener una relación romántica a larga distancia durante todo el tiempo que él estuvo en el MIT.

Allí, había asistido a un curso de filosofía, la disciplina más cercana a la ciencia que pudo encontrar y que le permitía cumplir el requisito de humanidades. Lo consideró como una tontería absoluta. Las observaciones que mascullaba el profesor le parecían tan interesantes como la estática en la radio. Feynman se distraía durante las aburridas lecciones utilizando un taladro manual en miniatura con el que perforaba diminutos agujeros en la suela de su zapato.⁷

Un día, un compañero de clase le informó de que era necesario que escribiera un ensayo relacionado con el tema del curso: conciencia. Feynman recordaba vagamente haber oído la frase «corriente de conciencia» surgida de la corriente de jerigonza del profesor. Esto le tocó la fibra sensible, y le recordó la historia de ciencia ficción que su padre le había contado acerca de extraterrestres que nunca dormían. Decidió entonces investigar en qué consiste el duermevela. Para el tema de su ensayo, experimentó de qué manera la conciencia se va apagando cuando nos vamos a dormir. Dos veces al día, durante la siesta de la tarde y después de irse a la cama por la noche, intentaba darse cuenta de cómo su conocimiento consciente cambiaba en los momentos anteriores a adormecerse.

En algún punto de su autosupervisión, Feynman observó algo realmente notable. En el preludeo soñoliento al duermevela, parecía como si su conciencia se bifurcara. En lugar de una única corriente, se convertía en dos riachuelos gemelos. En una ráfaga de pensamientos, visualizó cuerdas que rodeaban un cilindro y que se embobinaban mediante un conjunto de poleas, parecidas a alguno de los problemas de mecánica que había estado preparando para Wheeler. Feynman era un pensador visual, de modo que esto no era muy sorprendente. Imaginando vívidamente

cada detalle, empezó a preocuparse por si las cuerdas quedaban atascadas y el dispositivo se atoraba. Sin embargo, también advirtió una segunda corriente de pensamiento en el que se aseguraba a sí mismo que la fuerza de tensión garantizaría que el sistema funcionara de manera regular. Curiosamente, en dos facetas paralelas, Feynman era a la vez un estudiante ansioso y un profesor tranquilizador. Pero las perspectivas gemelas se fusionaban de alguna manera como las cuerdas del sistema de poleas.

«Flujo de consciencia», un término que acuñó el psicólogo William James, describe la ilusión de que los pensamientos parecen fluir en una única corriente. El escritor irlandés James Joyce y otros escritores notables de principios del siglo xx, como T. S. Eliot y Gertrude Stein, lo adoptaron como una especie de estilo literario. Las novelas notoriamente abstrusas de Joyce, como *Ulises* (1922) y *Finnegans Wake* (1939), ofrecen diarios literarios de las divagaciones de la mente. Joyce, a su vez, influyó en el escritor argentino Jorge Luis Borges, que en los primeros años de la década de 1940 produjo una asombrosa provisión de relatos cortos sobre el azar, el tiempo y la mente. No es que Feynman leyera o estuviera influido por dicha literatura. Más bien, sus intuiciones surgían por lo general de sus propios pensamientos profundos y de sus experimentaciones.

Una vez que Feynman entregó el ensayo, su comprensión creciente de los patrones de pensamiento lo llevó a experimentar con lo que ahora se denomina «sueños lúcidos»: intentar conservar una sensación de percatación y control al soñar. El tiempo del sueño puede parecer completamente desconectado del tiempo ordinario. En ese extraño ámbito nocturno, el avance uniforme del tiempo ya no parece que pueda aplicarse. Un libro popular de aquella época, *Un experimento con el tiempo*, de J. W. Dunne, imaginaba una especie de viaje en el tiempo en sueños. Las propias indagaciones de Feynman lo sorprendieron en relación a lo mucho que podía forzar a sus sueños a hacer lo que él quisiera.

Los experimentos mentales de Feynman continuaron en Princeton, y se dirigieron de manera más explícita al tema de la conciencia del tiempo. Había oído la teoría de un psicólogo prominente, según la cual procesos químicos en el cerebro que implicaban el metabolismo del hierro regían la manera de percibir el tiempo. Feynman pensaba de otra manera y decidió investigar qué factores influyen en la percepción del tiempo.

¿Podía tener algo que ver con el ritmo cardíaco, pensaba? Subiendo y bajando velozmente las escaleras de la Facultad de Graduados y corriendo a lo largo de sus pasillos, contaba los segundos para sí. Sus compañeros de habitación no tenían ni idea de qué impulsaba sus apresuradas

carreras por todo el edificio. Sin aliento, no se lo pudo decir hasta más tarde, cuando estuvieron juntos en el comedor. Pero no había mucho que decir, pues las carreras no suponían mucha diferencia para su sentido del tiempo.

EL HIPNOTISTA

El papel de Wheeler en todo esto era sobre todo divertirse ante los relatos de Feynman. Sin embargo, en algunas ocasiones su animado profesor ayudante le invitaba a la Facultad de Graduados para algún acontecimiento, donde presenciaba de primera mano la curiosidad poco convencional del científico.

Por ejemplo, un día se acercó al campus un hipnotista para entretener a un numeroso grupo de estudiantes graduados. Feynman le pidió a su tutor que acudiera como invitado suyo. Con gran sorpresa de Wheeler,



Entrada al Laboratorio de Física Palmer (ahora Centro Frist), flanqueada por estatuas de Benjamin Franklin y Joseph Henry, Universidad de Princeton.

(Fuente: Fotografía de Paul Halpern.)

cuando el hipnotista pidió voluntarios, Feynman fue directamente al escenario. Unas pocas órdenes más tarde, se hallaba sumido en un profundo trance. El hipnotista le pidió con solemnidad que caminara hasta el otro extremo de la sala, que cogiera un libro, lo colocara sobre su cabeza y volviera. Como un robot programado, Feynman obedeció sin dudar. La audiencia se desternillaba de risa.

Escéptico del hipnotismo, Wheeler creía que Feynman estaba actuando. Pero Feynman no era dado a actuar para otros —a menos que se tratara de una producción teatral real—, y por el contrario afirmó que se sintió verdaderamente obligado a seguir las órdenes. Se dio cuenta de que el cerebro no distinguía siempre la verdad y, por ejemplo, podía hacer que uno creyera que seguir determinadas órdenes era obligatorio. Mediante un autoanálisis perpetuo y su experimentación, Feynman consiguió una buena comprensión de la psicología. Puede afirmarse que su investigación de los estados alterados de percepción le ayudó a prepararse para indagar en una realidad cuántica que mezcla múltiples líneas temporales. Debido a los prejuicios y a las limitaciones de la mente, las cosas no siempre son lo que parecen.

A veces, la Facultad de Graduados celebraba un baile los sábados por la tarde. Cuando Feynman tenía suerte, Arline se tomaba un descanso de los estudios en la escuela de arte y de su trabajo a tiempo parcial dando clases de piano para acudir y pasar con él el fin de semana. Por aquella época ya habían empezado a hablar de matrimonio y se consideraban comprometidos.

Los cálidos abrazos, la sonrisa encantadora y el alegre optimismo de Arline ofrecían a Feynman un feliz descanso de su trabajo de clase y de sus cálculos. Ella fomentaba el lado artístico y expresivo de Feynman, lo que le proporcionaba el equilibrio que necesitaba. No vivas tu vida conforme a lo que digan los demás, le apremiaba. ¡Sé tú mismo!

Gracias en parte a su influencia, en momentos posteriores de su vida, Feynman tuvo aficiones creativas, como dibujar bocetos y tocar los bongós. Atraído por el ritmo de los tambores, acabó convirtiéndose en un gran conocedor de los estilos musicales de varios países africanos y latinoamericanos. Más que ninguna persona en su vida, quizá con la excepción de sus padres, Arline dejó en Feynman una huella indeleble.

Durante esas noches de baile en Princeton, Arline se solía alojar en casa de los Wheeler: John, su esposa, Janette, y sus dos hijos pequeños, Letitia, a la que llamaban «Tita», y James, conocido como «Jamie». Su casa recién edificada en Battle Road se hallaba a solo unas pocas manza-

nas de distancia de la Facultad de Graduados. John y Janette se habían casado en 1935, cuando los dos vivían en Carolina del Norte. Letitia había nacido en 1936 y Jamie, en 1939 (antes de la llegada de Feynman). Más adelante tendrían otra hija, Alison, nacida en 1942.

A Janette le gustaba mucho Arline, a la que veía como una joven decidida e independiente. Alguien tan testarudo como Feynman necesitaba ese equilibrio. A John y Janette, el amor creciente de la joven pareja les recordaba en muchos aspectos su propio afecto. Pero preocupados porque Arline se encargaba de demasiadas cosas y trabajaba muy duro, le ofrecieron que se relajara cuidando de ella en su casa. Agradecida por su hospitalidad, les obsequió con varias acuarelas que había pintado.

DOS LATAS DE SOPA

Incluso cuando estaba atareado con sus cálculos, Feynman nunca quiso pasar todo su tiempo en el confinamiento solitario de un despacho, una biblioteca o un laboratorio. Por el contrario, encontraba saludable interactuar con otras personas, en especial cuando sus engranajes mentales se hallaban momentáneamente atascados. Intentaba no tomarse la física teórica tan en serio como para que el resto de la vida le pasara desapercibido. La ciencia tenía que ser una alegría, no algo tedioso. Las personas eran mucho más importantes que las ecuaciones.

Al igual que a su padre, a Feynman le encantaba ver la cara de asombro de los niños cuando les contaba anécdotas científicas divertidas y desconcertantes. En la casa de su infancia, en Queens, le gustaba enseñarle curiosidades científicas a su hermana pequeña, Joan, que tenía casi nueve años menos que él. (Richard también había tenido un hermano, Henry, que murió de una enfermedad infantil en febrero de 1924, cuando solo tenía cuatro semanas de edad; fue una tragedia devastadora para la familia Feynman.)

De niña, Joan había ayudado a Richard con sus experimentos de electrónica, por lo que había ganado una paga de cuatro centavos semanales.⁸ Una petición de un vaso de agua se convirtió en una lección de movimiento circular cuando lo hizo girar frente a los ojos de Joan y, milagrosamente, no se derramó... hasta que lo dejó caer. Feynman le enseñó el tenue resplandor verde, como de cuento de hadas, de la aurora boreal, y fomentó decididamente el interés de Joan por la astronomía, lo que finalmente la condujo a una brillante carrera académica en esta disciplina. Mientras

Feynman estuvo en Princeton, continuaron escribiéndose sobre las maravillas del cielo nocturno.

A pesar del interés creciente de Joan por la ciencia, Feynman nunca intentó explicarle sus investigaciones con Wheeler. Quizá pensó que eran demasiado técnicas, o demasiado alejadas de la astronomía. Tampoco le presentó a su tutor de Princeton, incluso cuando ella fue mayor. Tal como Joan recordaba: «No tuve ningún contacto en absoluto con Wheeler, y Feynman no comentaba su trabajo conmigo».⁹

Durante sus muchas visitas a la casa de Wheeler, Feynman acabó por conocer bien a los hijos de este. Le encantaba divertirlos con sus trucos de ciencia. Era parte de un juego que posteriormente convertiría a Feynman en una especie de «mago de la ciencia», que asombraba a otros y los desafiaba a encontrar explicaciones.

Letitia y Jamie recordaban que Feynman fue a su casa cuando eran muy pequeños y que realizó un experimento para divertirlos. El científico cogió rápidamente una lata de sopa de la encimera en la que Janette estaba preparando la cena y, tal como recordaba Jamie, les dijo: «Tengo un problema para vosotros. Tenéis dos latas de sopa que son idénticas, pero una está helada. La pregunta es, si las colocáis una al lado de la otra sobre un plano inclinado y las soltáis simultáneamente, ¿cuál será la que llegue antes abajo?».¹⁰

Aunque no reveló verbalmente la respuesta a los niños, Feynman basó su truco de ciencia en el hecho de que los líquidos tienen una dinámica diferente a la de los sólidos. Los contenidos sólidos, como una sopa helada, giran al unísono con sus recipientes y por lo tanto gastan energía rotatoria, que extrae energía de su movimiento a través del espacio. Los fluidos, como una sopa líquida, en cambio, no giran con sus recipientes y están libres de gastar la mayor parte de su energía en moverse de un lugar a otro. Esto permite que las latas llenas de líquido vayan más rápidas. Por lo tanto, incluso sin abrirla ni agitarla, se puede decir si su contenido es fluido o sólido.

Después de plantear este dilema sobre cómo adivinar el estado del contenido de una lata, Feynman lanzó al aire el bote de sopa. Encontró otra lata que contenía un sólido, también la lanzó y pidió a los niños que se fijaran en cuál caía más rápido. Sobre la base de su observación, adivinaron cuál era la que contenía líquido. Feynman abrió la lata, vertió la sopa y les demostró lo delicioso que es realmente pensar en la física.

Además de la anécdota con la sopa, Letitia recordó que en otra de las visitas de Feynman su comportamiento informal chocó con las opiniones

más tradicionales de Janette acerca de cómo debería comportarse un joven. Esta consideraba que era de mala educación permanecer sentado, despatarrado en una silla, sin levantarse a saludarla cuando alguien se le acercaba. «Tengo un recuerdo de Feynman —explicó Letitia—. Tengo la sensación de que mi madre le decía que debía ponerse de pie cuando una señora le hablara».¹¹

En aquella época, alojar a estudiantes graduados y a otros académicos jóvenes en la propia casa era relativamente común, sobre todo para profesores familiarizados con la tradición europea de casas privadas que funcionaban también como centros de investigación. Por ejemplo, Niels Bohr y su esposa Margarethe recibían con amabilidad a jóvenes investigadores en su hogar de Copenhague, y entremezclaban amigables debates con la legendaria hospitalidad danesa.

Los Wheeler compensaron el favor acogiendo a los Bohr en varias ocasiones. Para los niños era emocionante tener a un físico famoso y a su esposa en casa. Letitia recordaba con cariño haber conocido a la señora Bohr, y Alison también tenía recuerdos de dichas visitas. Tal como recordaba, «Niels Bohr se sentaba en el butacón preferido de mi madre, de terciopelo rojo. Hablaba muy bajito y era difícil entender una palabra de lo que decía».¹²

REACCIÓN EN CADENA

A pesar de la voz suave de Bohr, sus advertencias tuvieron una influencia considerable en la comunidad de físicos. Sus tranquilas observaciones al seminario de un joven investigador, en función del tono, podían impulsar u obstaculizar la carrera del conferenciante. Si estaba inquieto, como cuando anunció el descubrimiento de la fisión por los alemanes, sus colegas físicos se daban cuenta enseguida.

Después de que varios físicos hicieran sonar la alarma sobre la posibilidad del desarrollo de armas por los nazis, la respuesta inmediata fue el silencio. Washington puede moverse muy lentamente. Aunque Fermi entró en contacto con el Departamento de Marina en marzo de 1939 y Einstein escribió por primera vez a Roosevelt en agosto del mismo año, el presidente no consideró urgente el asunto. Espoleado de nuevo por Szilard, Einstein envió otras dos cartas en 1940. Aquel año, el gobierno de Estados Unidos dedicó unos 6.000 dólares a la investigación de la fisión nuclear (unos 100.000 dólares actuales, ajustados por la inflación). No

fue hasta el 6 de diciembre de 1941, el día antes de que los japoneses bombardearan Pearl Harbor y de que Estados Unidos entrara en la guerra, cuando el programa atómico norteamericano, cuyo nombre en código fue Proyecto Manhattan, se inició de verdad y con una financiación mucho mayor.

El artículo de Bohr y Wheeler había revelado dos materiales fisio-nables posibles para alimentar una reacción en cadena: el uranio-235 y el plutonio-239. Generar ambos en cantidades suficientes iba a requerir enormes avances tecnológicos. El uranio-235, que constituía solo una pequeñísima fracción del mineral de uranio, tenía que separarse del uranio-238, mucho más abundante. La investigación había demostrado que los procesos químicos y otros métodos comunes para distinguir los ingredientes, simplemente, no funcionarían. El plutonio-239 presentaba otro reto diferente por completo. Al ser un elemento artificial, sería necesario crearlo en un reactor nuclear mediante la transmutación del uranio.

Les aguardaban otros muchos obstáculos, como determinar la masa crítica del combustible necesario para crear una reacción en cadena, reunir y almacenar este material, etcétera. El Proyecto Manhattan acabaría siendo una proeza científica y tecnológica sin igual, que convocaría a servir a muchas de las mentes más preclaras de Estados Unidos —y de sus aliados más próximos, Canadá y Reino Unido—. En papeles y lugares distintos, también se reclutaría a Wheeler y Feynman.

Más tarde, Wheeler se preguntaría si los Aliados no habrían tenido que poner una mayor urgencia en el programa de la bomba atómica. Después de todo, pasaron más de dos años entre la primera carta a Roosevelt y el inicio del proyecto, y pasarían casi otros cuatro años hasta que las bombas fueran construidas, probadas y lanzadas. Aunque muchos de sus colegas lamentarían la devastación causada por las armas nucleares, Wheeler sopesaba situaciones alternativas en las que los Aliados frustraban a los nazis mucho antes. Así, se preguntaba: ¿podría un desarrollo y uso de la guerra atómica más rápidos salvar millones de vidas?

Sin embargo, mientras la guerra se encontraba todavía a un océano de distancia, Wheeler pasó 1940 y 1941 profundamente absorto en proyectos teóricos con Feynman. Por aquel entonces consideraba que el conflicto era un problema europeo y prefería lidiar con ideas junto con su brillante y joven protegido. En lugar de pensar en la logística de la fisión nuclear, estudiaban de qué modo las partículas interactúan a un nivel fundamental. Feynman eligió a Wheeler como el director oficial de su tesis

doctoral, y este aceptó encantado, formalizando así su estrecha relación de trabajo. Reuniéndose en Fine Hall, en el Laboratorio Palmer y en casa de Wheeler, llamándose por teléfono y encontrando todas las maneras posibles para estimular la imaginación del otro, empezaron a sentar las bases de una revolución en la física fundamental. La guerra era efímera; las verdades científicas, eternas.

●

Índice

Introducción: Una revolución en el tiempo	13
1. El reloj de Wheeler	27
2. La única partícula en el universo.	55
3. Todos los caminos que no llevan al paraíso	93
4. Las sendas ocultas de los fantasmas	127
5. La isla y las montañas: cartografía del paisaje de partículas . . .	147
6. La vida como una ameba en un mar espumoso de posibilidades.	183
7. La flecha del tiempo y el misterioso Señor X	217
8. Las mentes, las máquinas y el cosmos	249
Conclusión: El camino del laberinto	283
Epílogo: Encuentros con Wheeler	291
<i>Agradecimientos</i>	295
<i>Notas</i>	297
<i>Lecturas recomendadas</i>	307
<i>Índice analítico</i>	311