DRAKONTOS

Leonard Mlodinow

El arco iris de Feynman

La búsqueda de la belleza en la física y en la vida

CRÍTICA

El arco iris de Feynman

La búsqueda de la belleza en la física y en la vida

Leonard Mlodinow

Traducción castellana de Javier García Sanz

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: febrero de 2004
Primera edición en esta nueva presentación: mayo de 2017

El arco iris de Feynman
Leonard Mlodinow

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: *Feynman's Rainbow. A Search for Beauty in Physics and Life*

© Leonard Mlodinow, 2003
This edition is published by arrangement with Warner Books, Inc., New York, USA.
All rights reserved

© de la traducción, Javier García Sanz, 2004

© Editorial Planeta S. A., 2017
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: 978-84-16771-97-4
Depósito legal: B. 8025 - 2017
2017. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

Índice

Agradecimientos 11
Prefacio 13

I. 17
II. 21
III. 27
IV. 35
V. 47
VI. 53
VII. 59
VIII. 67
IX. 75
X. 89
XI. 93
XII. 99
XIII. 109
XIV. 115
XV. 123
XVI. 131
XVII. 135
XVIII. 143
XIX. 149

XX. 155
XXI. 159
XXII. 167
XXIII. 171
XXIV. 175

Lecturas adicionales 181
Índice alfabético 183

I

Un hombre delgado con cabello largo entra en su modesto despacho en un edificio de cemento gris bordeado de olivos del campus del Caltech, en el California Boulevard de Pasadena. Algunos estudiantes, cuya edad no llega a un tercio de la del profesor, se detienen en el vestíbulo y observan. Nadie diría una palabra si él no acudiese hoy al despacho, pero nada podría impedírselo, y mucho menos la cirugía, cuyos efectos no conseguirán romper su rutina.

Fuera, el sol brillante baña las palmeras, pero ya no es el sol abrasador del verano. La vegetación de las colinas renace con la llegada de la estación más hospitalaria del invierno, y el tono dorado deja paso al verde. Quizá el profesor se pregunta cuántos ciclos más de dorado y verde va a contemplar; sabe que tiene una enfermedad que va a acabar con él. Ama la vida, pero cree en la ley natural y no en los milagros. Cuando le fue detectada su extraña forma de cáncer en el verano de 1978, había consultado la literatura médica. Los informes decían que, por regla general, menos de un diez por 100 de los afectados sobrevivía cinco años. Prácticamente nadie sobrevivía diez años. Él estaba en su cuarto año.

Unos cuarenta años antes, cuando era casi tan joven como los estudiantes que ahora le rodean, había enviado una serie de artícu-

los a la prestigiosa revista *Physical Review*. Los artículos contenían unos extraños diagramas que constituían una nueva forma de pensar en la mecánica cuántica, menos formal que el lenguaje matemático estándar de la física. Aunque pocos parecían convencidos por este nuevo enfoque, él pensaba que sería divertido que algún día dicha revista estuviera repleta de sus diagramas. El caso es que el método que reflejaban no solo se mostró correcto y útil, sino también revolucionario; así que ese día de 1981 sus diagramas eran ubicuos en *Physical Review*. Eran tan famosos como pueda serlo un diagrama. Y él era tan famoso, al menos en el mundo de la ciencia, como pueda serlo un científico.

El profesor ha estado trabajando en un nuevo problema durante los dos últimos años. El método que desarrolló en sus días de estudiante había tenido un éxito incontenible cuando se aplicó a una teoría denominada electrodinámica cuántica. Ésta es la teoría de la interacción electromagnética que gobierna, entre otras cosas, el comportamiento de los electrones que describen órbitas alrededor del núcleo del átomo. Estos electrones dan a los átomos sus propiedades químicas y sus propiedades espectrales (los colores de la luz que emiten y absorben). De ahí que el estudio de estos electrones concretos y su comportamiento se denomine física atómica. Pero desde los días de estudiante del profesor, los físicos habían hecho grandes progresos en un campo nuevo denominado física nuclear. La física nuclear mira más allá de la estructura electrónica de los átomos, a las potencialmente mucho más violentas interacciones de los protones y neutrones en el interior del núcleo. Aunque los protones están sometidos a la misma fuerza electromagnética que gobierna el comportamiento de los electrones atómicos, esas interacciones están dominadas por una nueva fuerza, una fuerza que es mucho más intensa que la fuerza electromagnética. Se denomina, apropiadamente, la «fuerza fuerte».

Para describir la fuerza fuerte se había ideado una nueva y gran teoría. La nueva teoría tenía algunas similitudes matemáti-

cas con la electrodinámica cuántica, y se le dio un nombre que reflejaba dichas similitudes: cromodinámica cuántica (que pese a su raíz, *cromo*, no tiene nada que ver con lo que normalmente entendemos por color). En principio, la electrodinámica cuántica proporcionaba una descripción cuantitativa precisa de protones, neutrones y partículas afines, y de cómo interaccionan —cómo podrían unirse unas a otras, o cómo se comportaban en las colisiones—. Pero ¿cómo extraemos descripciones de estos procesos de la teoría? El enfoque del profesor se aplicaba en principio a esta nueva teoría, pero surgían complicaciones en la práctica. Aunque la cromodinámica cuántica había conseguido ciertos triunfos, había muchas situaciones en las que ni el profesor ni nadie más sabían cómo utilizar sus diagramas —o cualquier otro método— para extraer predicciones numéricas precisas de la teoría. Los teóricos ni siquiera podían calcular la masa del protón, una cantidad fundamental que los experimentales ya hacía tiempo que habían medido de forma precisa.

El profesor piensa, quizá, que en los meses o años que le quedan de vida se entretendrá con el problema de la cromodinámica cuántica, considerado uno de las más importantes de su época. Para acumular la energía y voluntad que requiere su esfuerzo, se dice a sí mismo que todos aquellos que habían atacado infructuosamente este problema durante muchos años carecían de ciertas cualidades que él posee. Él, Richard Feynman, no está seguro de cuáles son: un enfoque extravagante, quizá. Cualesquiera que fueran, le habían sido muy útiles: tenía un premio Nobel, aunque podría haber tenido dos o tres considerando los importantísimos avances, y en muy diversos campos, que había generado en su carrera.

Mientras tanto, en 1980, a varios cientos de kilómetros al norte, en Berkeley, un hombre mucho más joven había publicado un par de artículos con su propio nuevo enfoque para resolver algunos de los viejos misterios de la física atómica. Su método ofrecía respuestas a algunos problemas difíciles, pero había una

trampa. El mundo que exploraba en su imaginación era un mundo en el que el espacio tiene un número infinito de dimensiones. Es un mundo no sólo con arriba/abajo, derecha/izquierda y delante/detrás, sino también con un conjunto incontable de otras direcciones. ¿Se podía decir realmente algo útil acerca de nuestra existencia tridimensional estudiando un universo así? ¿Y podía extenderse el método a otras áreas de estudio, tales como el campo más moderno de la física nuclear? El caso es que era lo suficientemente prometedor como para que a este estudiante se le ofreciera un puesto como miembro del claustro del Caltech, y un despacho junto al de Feynman.

La noche después de recibir esta oferta de empleo recordaba el momento en que, lo que para mí era media vida antes, estaba en mi cama preguntándome cómo sería el día siguiente, mi primer día en el instituto. Recuerdo que, más que cualquier otra cosa, lo que me preocupaba era el gimnasio y el tener que ducharme delante de los demás muchachos. Lo que realmente me preocupaba era hacer el ridículo. También en el Caltech estaría expuesto a ello. En Pasadena no había ningún consejero, ningún tutor, sólo mis propias respuestas a los problemas más difíciles que podían imaginar los mejores físicos. Para mí, un físico que no producía ideas brillantes era un muerto viviente. Además, en un lugar como el Caltech, sería rechazado, y pronto perdería el empleo.

¿Valía o no valía? ¿O estaba planteándome la pregunta equivocada? Empecé a hablar con el profesor delgado y moribundo de cabellos largos que tenía un despacho en el mismo pasillo. Lo que me contó el anciano es el tema de este libro.

II

La historia empieza realmente en el invierno de 1973. Yo vivía en un kibbutz, una granja comunitaria en Israel, al pie de las colinas próximas a Jerusalén. El pelo me llegaba a los hombros y mi política era pacifista, pero estaba ahí a causa de una guerra, la guerra del Yom Kippur, llamada así por el día en que había comenzado. Aunque prácticamente había finalizado cuando llegué, sus vestigios todavía se dejaban sentir. Las tropas aún estaban movilizadas y eso había llevado a una gran escasez de mano de obra. A mediados de mi segundo año de universidad me tomé unas vacaciones para ir a ayudar.

Tenía veinte años y me sentía mayor. Pero todavía era un niño: guiado, cuidado y protegido. La experiencia del kibbutz fue la primera en muchas áreas de la vida: mi primera visita a un país extranjero, mi primera ocasión trabajando con animales de granja, mi primera vez cobijándome en un refugio mientras fuera explotaban las granadas. Y era la primera vez que vivía sin ciertas comodidades que damos por supuestas: equipos de música, televisores, teléfonos... baños interiores.

Por la noche había poco que hacer excepto charlar con los otros voluntarios, mirar las estrellas o visitar la pequeña «biblioteca» del kibutz, que tenía unas pocas docenas de libros en inglés. Algunos de los libros de la biblioteca eran libros de física,

aparentemente donaciones de algún habitante del kibutz que había asistido a la universidad en Estados Unidos. En aquella época yo tenía dos asignaturas fuertes —Química y Matemáticas— y todos los que me conocían suponían que algún día sería profesor de Química en una universidad importante. Siempre había sido un muchacho con vocación académica y, por lo que todos podían recordar, mis dos temas favoritos eran la química y las matemáticas. El curso de Física «avanzada» que estudié en el instituto había sido árido y aburrido. No participaba del gran revuelo que en todos provocaba Isaac Newton: ¿quién podía emocionarse por la velocidad de una bola rodando por un plano inclinado, o la energía de un peso que se deja caer desde el segundo piso? No había comparación con los fuegos artificiales y los cohetes que podía lanzar en un laboratorio de química o con el espacio curvo con el que podía soñar en los cursos de matemáticas. Pese a todo, y dadas las pocas opciones que tenía, finalmente hojeé los libros de física.

Uno de ellos era un libro de tapas blandas titulado *El carácter de la ley física,* escrito por un tipo del que había oído hablar vagamente: Richard Feynman. El libro era una transcripción de unas conferencias que había impartido en los años sesenta. Lo tomé. Explicaba, sin utilizar las matemáticas, los principios de la física moderna, especialmente la teoría cuántica.

La «teoría cuántica» no es realmente una teoría concreta, sino más bien un tipo de teoría. Una teoría cuántica es cualquier teoría basada en la «hipótesis cuántica» revelada al mundo por Max Planck en el año 1900, que afirma que ciertas magnitudes tales como la energía pueden tomar sólo ciertos valores discretos. Por ejemplo, a cualquier altura dada sobre la superficie de la Tierra, uno posee algo llamado energía potencial gravitatoria. Ésta es la energía con la que uno llega al suelo si cae desde dicha altura (en ausencia de resistencia del aire). En una teoría cuántica de la gravitación la energía potencial gravitatoria no podría tener cualquier valor: habría sólo un conjunto discreto de energías

que podría poseer. Hay incluso una energía mínima posible que corresponde a estar un poco por encima de la superficie de la Tierra. Ésta ha sido medida recientemente en un experimento con neutrones, para los que la energía mínima corresponde a una altura de aproximadamente catorce diezmilésimas de centímetro.* Esto es algo que difícilmente se podrá detectar con una regla ordinaria. Los efectos cuánticos son importantes, no obstante, cuando se estudian objetos como neutrones, núcleos o átomos.

Las teorías que no incorporan la hipótesis cuántica de Planck se denominan teorías clásicas. Obviamente, antes de 1900 todas las teorías en física eran teorías clásicas. En general las teorías clásicas funcionan bien a menos que uno esté interesado en los matices del comportamiento en la escala atómica o menor. Ésta resultó ser el centro de atención durante gran parte de los cien años siguientes para gran parte de los físicos.

Los físicos pasaron las primeras décadas del siglo XX desarrollando las consecuencias de la hipótesis cuántica de Planck. Una de ellas es el famoso principio de incertidumbre, que afirma que en la naturaleza existen ciertos pares de magnitudes cuyos valores no pueden ser precisados simultáneamente. Por ejemplo, si se determina la posición de un objeto con gran precisión, entonces no se puede conocer su velocidad de forma muy precisa. Una vez más, estas limitaciones no son apreciables en el caso de los objetos grandes que encontramos en la vida cotidiana, pero para los constituyentes de los átomos suponen una enorme diferencia.

Otra consecuencia de la teoría cuántica es lo que los físicos llaman «dualidad onda-partícula», que significa que, en ciertas circunstancias, partículas tales como los electrones muestran el comportamiento de ondas, y viceversa. Por ejemplo, si se dispara un chorro de electrones contra una minúscula rendija en un

* Véase Nesvizhevsky *et al.*, *Nature,* n.º 415, 2002, p. 297. (*N. del t.*)

muro, cuando éstos lo atraviesan se dispersan en una figura circular, como una onda de agua que atraviesa una pequeña abertura. Y si se ponen dos minúsculas rendijas en el muro, veremos rizos de interferencia similares a los que se ven cuando chocan dos ondas de agua. Un electrón como onda es un electrón disperso en el espacio, un electrón que actúa como si fuera una excitación de algún medio continuo antes que como un objeto discreto propiamente dicho. Por otra parte, la dualidad onda-partícula nos dice también que hay circunstancias en las que ondas de energía muestran un comportamiento propio de partículas. Un ejemplo de esto es la luz. A lo largo de los tiempos hemos conocido la luz básicamente como un fenómeno ondulatorio. Pensemos, por ejemplo, en la forma en que se desvía cuando atraviesa una lente, o en cómo se dispersa en un prisma. Pero también puede comportarse como una partícula, un objeto discreto localizado, al que llamamos fotón. Este concepto de la luz resultó ser la clave para la comprensión del efecto fotoeléctrico, por el que algunos metales expulsan un electrón cuando sobre ellos ha incidido un fotón. Einstein, el primero en aceptar la hipótesis cuántica como una ley física fundamental, explicó en estos términos ciertas propiedades misteriosas del efecto fotoeléctrico en uno de sus famosos artículos de 1905. (Fue por este trabajo, y no por sus controvertidas teorías de la relatividad, por el que recibió el premio Nobel de 1921.)

Actualmente tenemos versiones cuánticas de las viejas teorías clásicas, como la electrodinámica cuántica, y también tenemos nuevas teorías cuánticas que describen fuerzas que ni siquiera eran conocidas en los días de Planck, como la cromodinámica cuántica. Pero hay una excepción a esta tendencia de cuantización: la teoría de la gravitación. Nadie ha imaginado siquiera cómo incorporar la hipótesis cuántica en la teoría de la gravitación de Einstein, denominada relatividad general.

La mecánica cuántica constituye un mundo fascinante. Naturalmente yo sentía curiosidad por él, pero siempre había encon-

trado las descripciones de los libros de texto áridas y técnicas. Feynman lo hacía maravilloso y mágico. Yo estaba fascinado. Quería leer más.

Había otros tres libros de Feynman en la colección: los tres volúmenes de sus *Feynman Lectures of Physics*, un curso de Física general que dio en el Caltech. En ellos había una foto del autor: una instantánea de un tipo feliz tocando los bongos. Aquellos libros eran diferentes de cualquier libro de texto que yo hubiera visto antes. Eran coloquiales; eran divertidos. Parecía que Feynman estuviese en la habitación hablando contigo. El planteamiento de la mecánica hablaba de Newton, pero también de Daniel el Travieso. La sección sobre la teoría cinética de los gases incluía preguntas como: «¿Por qué tratamos ahora de este tema?». Los capítulos sobre la luz incluían una digresión sobre «algunas cosas muy interesantes que se han descubierto sobre la visión de la abeja». Pero Feynman no sólo hacía que la física sonara fascinante. Sin siquiera decirlo, también hacía que sonara importante. Como si un físico, con una idea, pudiese unilateralmente cambiar el mundo y el modo en que la gente lo ve. Me encontré pensando en problemas y cuestiones de los libros de Feynman mientras conducía el tractor cargado de huevos de gallina, pastoreaba el ganado o pelaba patatas en la cocina comunal.

Para cuando regresé a casa, en Chicago, ese verano, había decidido que quería estudiar Física.

A la vista de su gran impacto sobre mí, el kibbutz me había permitido llevarme *El carácter de la ley física* a cambio de un par de vaqueros viejos. Hacia el final del libro de Feynman subrayé un pasaje: «Tenemos mucha suerte de vivir en una época en la que todavía estamos haciendo descubrimientos. Es como el descubrimiento de América: sólo se descubre una vez. La época en la que nos ha tocado vivir es la época en la que se están descubriendo las leyes fundamentales de la naturaleza, y esta época no volverá a repetirse». Me prometí que algún día haría un descubrimiento. Y que algún día conocería a este profesor Feynman.