

RESEÑA

ESPACIO-TIEMPO TORCIDO, HOYOS NEGROS, HIPERESPACIO Y SUPERCUERDAS **Cuatro libros generales sobre temas de la cosmología y la física actual**

Halley D. Sánchez

The Poetry of the Universe: a Mathematical Exploration of the Cosmos. Robert Osserman. 210 páginas. Doubleday/Anchor Books, 1995. \$18.95.

¿Cómo es que siendo las matemáticas un tema tan bello haya estudiantes universitarios que pasen cuatro años estudiándola sin darse cuenta de su belleza? Esta perplejidad, según Robert Osserman, lo motivó a diseñar un curso sobre la naturaleza de la ciencia, matemáticas y tecnología. El libro reseñado aquí tiene su origen e inspiración en uno de los segmentos del curso. Las palabras de la poesía de la cual habla el título son los distintos aspectos de las matemáticas utilizadas para entender el universo, y en particular el espacio y la cosmología.

Después de repasar los intentos matemáticos de los egipcios y griegos antiguos de medir la tierra (Capítulo 1), Osserman introduce (Capítulo 2) el tema de las implicaciones de curvatura por medio de una discusión detallada de las dificultades de hacer un mapa o proyección a dos dimensiones de la tierra de tres dimensiones. A través de una discusión de varios capítulos (3-5) de los adelantos de Gauss, Lobachevsky, Bolyai y Riemann, el autor presenta el concepto de espacio curvo o esférico, la hiper-esfera. Con esta base matemática se extiende la discusión a la astronomía del siglo XX, haciendo hincapié en la expansión del universo y la cuestión de su forma (Capítulos 6-9). Una analogía entre la dificultad de hacer un mapa de la tierra y exponer la forma del universo juega un papel pedagógico

importante en la discusión. El tema de cuatro dimensiones y la esfera ("four-sphere") recibe amplia atención. El alcance de la discusión llega a tales asuntos o resultados recientes como las imágenes obtenidas del Explorador de Fondo Cósmico (COBE—"Cosmic Background Explorer"), el proyecto del Observatorio Interferómetro Láser de Ondas Gravitatorias (LIGO—"Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory"), "buckyballs" y fractales, cubriendo así el tema de la forma del universo desde sus inicios en los tiempos antiguos hasta los más recientes.

El autor no es un popularizador profesional de la ciencia y las matemáticas, sino un matemático y profesor universitario con vasta experiencia en el campo de la geometría y topología. Al hacer su presentación sin ecuaciones o pruebas, facilita el entendimiento de los que tienen poca experiencia en esos campos técnicos y les permite iniciarse, por lo menos de forma conceptual, en una de las áreas más recónditas y fascinantes del quehacer intelectual. Para el que tiene algún conocimiento de la geometría y la cosmología, o el que está acostumbrado a presentaciones más técnicas, el libro debe servir como recuerdo de los conceptos tras las ecuaciones y pruebas. Al forzarnos a enfocar el bosque en vez de los árboles individuales, Osserman nos obliga a recordar la poesía del universo que motivó al ser humano a intentar entenderlo.

The Origin of the Universe. John D. Barrow. 150 páginas. BasicBooks, 1994. \$20.00.

Este libro es parte de la serie "Maestros de las Ciencias" ("The Science Masters Series") de BasicBooks. La intención de la serie es contribuir al alfabetismo científico por medio de la presentación de las ideas científicas consideradas al filo de la navaja en varias disciplinas científicas en un formato conciso y accesible a la audiencia general. En **El origen del universo**, John D. Barrow, Profesor de Astrofísica en la Universidad de Sussex en Inglaterra y autor conocido de varios libros de divulgación de la ciencia, hace una presentación de la cosmología actual.

De forma conceptual Barrow cubre el tema de la cosmología desde lo más simple hasta lo más complicado y actualizado, desde la expansión del universo, la radiación cósmica de fondo, y la historia de la cosmología alrededor del descubrimiento de tal radiación hasta

el problema de singularidad, la falta de simetría entre materia y antimateria, el problema de monopolios, la tesis de inflación, "WHIMPS", la ecuación Wheeler-DeWitt, la tesis de la entropía de la gravitación, la teoría de condiciones "sin-fronteras" de Stephen Hawking, las implicaciones de los resultados del Explorador de Fondo Cósmico (COBE—"Cosmic Background Explorer"), hoyos de gusanos ("wormholes"), supercuerdas ("superstrings"), el principio antrópico, e inclusive, la cuestión de la verificación de las teorías de la cosmología. El autor pone importancia especial en la simbiosis entre la física de partículas y la cosmología, explicando cómo las observaciones astronómicas de las cantidades de hidrógeno, helio y otros elementos livianos en el universo sirven como prueba de las teorías de la física de partículas.

Como era de esperar del coautor del libro principal sobre el principio antrópico cosmológico (*The Anthropic Cosmological Principle*, con Frank J. Tipler, Oxford University Press, 1986), Barrow hace hincapié en los constantes universales y por qué tienen que ser aproximadamente lo que son para que existan seres conscientes inteligentes que puedan observar y disertar sobre el universo. Si la constante de la fuerza de gravitación o la de la fuerza electromagnética fueran distintas, la vida como la conocemos no sería posible. Según la biología, la evolución espontánea de la vida, su mera existencia, requiere la presencia de elementos complejos como el carbono con propiedades específicas de enlace que lo permite ser la base de DNA y RNA. Elementos como el carbono, nitrógeno, oxígeno, silicio, fósforo y otros importantes para la vida no surgen en los primeros momentos del universo, sino como productos de estrellas que, al cabo de muchos años de convertir hidrógeno en helio, sufren una crisis energética al terminarse su abastecimiento de hidrógeno, y experimentan un período explosivo nuclear durante el cual convierten helio en elementos más pesados y estallan como supernovas. Al cabo de tales explosiones, los elementos pesados se dispersan a través del espacio y forman parte del universo y, posiblemente, de planetas donde surja la vida.

Para que haya carbono y los otros elementos pesados fundamentales para la vida, el universo tiene que ser suficientemente antiguo para que se hayan desarrollado, por lo menos, dos generaciones de estrellas. Si la constante de la fuerza de la gravitación fuera mayor, el universo se colapsaría antes de que hubiera tiempo para la formación de estrellas. Por el contrario, si la constante fuera menor, el universo se expandiría tan rápido que las estrellas no se podrían formar y nunca se formarían los elementos necesarios para

la vida. La expansión del universo está tan cerca del borde entre un universo que se expandiría para siempre y después de un tiempo comenzaría a encogerse. Aún después de alrededor de quince billones de años de expansión, no es posible determinar con precisión a qué lado del borde está nuestro universo. La posible divergencia de una expansión plana del universo es de una parte en diez seguido por treinta y cinco ceros (10^{35}).

En cuanto a la fuerza electromagnética, si ésta y los niveles de energía nuclear fueran distintos, aun por una cantidad mínima, no existiría un estado de “resonancia” entre helio y berilio que permite la creación de suficiente carbono en el universo para el origen de vida (dos átomos de helio se unen en las reacciones nucleares de las estrellas para formar berilio, y entonces se le une otro átomo de helio para formar carbono). Por el contrario, si hubiera una resonancia igual entre carbono y helio, tampoco existiría suficiente carbono, porque tan pronto se uniera helio con berilio para formar carbono, se uniría con otros átomos de helio y todo el carbono terminaría en oxígeno. Sin estas dos “aparentes coincidencias”, como las llama Barrow, no existiría el carbono que permite la existencia de la vida.

Por supuesto, como bien nota Barrow, estas “coincidencias” no necesariamente dan lugar a la conclusión teológica o filosófica que el universo fue “diseñado” para la evolución de seres inteligentes. Lo que sí indican es que en cuanto a una teoría cosmológica que hace predicciones estadísticas, es necesario entender que nuestro universo no necesariamente es el más probable en términos absolutos, pues hay que tomar en cuenta la extensión de valores que hace posible la evolución de observadores como nosotros. En palabras del autor, nuestra existencia como observadores es “un hecho importante en nuestra búsqueda para los orígenes del universo y su notable panoplia de propiedades” (p. 127).

El libro de Barrow debería ser útil tanto para principiantes que desean tener una introducción al campo actual de la cosmología como para conocedores de la materia que no son expertos y que desean tener una visión global de sus desarrollos y cuestiones actuales. Su única laguna es que dedica poco espacio a hablar de los posibles desarrollos futuros en relación a los estudios de más de cuatro dimensiones, el hiperespacio, aunque lo más probable es que una discusión de este tema hubiera violado el propósito de la serie de presentaciones cortas y concisas. Para el que quiere explorar más sobre las implicaciones de supercuerdas y hiperespacio, existen otros libros, como el *Hyperspace* de Michio Kaku.

Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. Kip S. Thorne. 169 páginas. W.W. Norton, 1994. \$14.95.

En este libro, Rip S. Thorne, actual ocupante de la Cátedra Feynman de Física Teórica en el Instituto Tecnológico de California, presenta aspectos de la física y astronomía actual por medio de una exposición general y extensiva de hoyos negros y de otros resultados exóticos de la teoría de relatividad general. Al aplicar el apelativo "extensivo" a un libro, muchas veces es señal de que sirve más como referencia que para la lectura, pero esto no es el caso con respecto al libro de Thorne. Dado la combinación cautivadora de teoría, historia y anécdota, y el estilo fluente del autor, el libro lee como una buena novela. Como suele suceder con novelas buenas, el lector muy bien podrá lamentarse porque la lectura se termina muy rápidamente.

El libro comienza (Prólogo) con un cuento tipo ciencia-ficción sobre un viaje especial en el futuro a explorar varios hoyos negros. El propósito del cuento es introducir al lector de inmediato y en forma de aventura, a los temas del libro. Con excepción de algunas tecnologías futurísticas (como la posibilidad de viajar en el espacio a velocidades cerca de la velocidad de la luz, las computadoras avanzadas y la tecnología necesaria para extraer la energía giratoria de un hoyo negro en rotación), las características de los hoyos negros en el cuento corresponden a nuestro mejor conocimiento actual. A través del cuento hay notas al calce que indican los capítulos donde se discuten más a fondo (y no en forma de ciencia ficción) las características de los hoyos negros y de los otros objetos astronómicos mencionados en el mismo.

Concluido el cuento de ciencia-ficción, el autor presenta paulatinamente, capítulo a capítulo, siguiendo un orden a la vez histórico como lógico y pedagógico, lo que se conoce sobre los hoyos negros y otros objetos exóticos de la astronomía actual. Como era de esperar, comienza con una discusión en torno a Alberto Einstein y sus teorías de relatividad especial (1905) y relatividad general (1915), a través de las cuales se modificaron los conceptos de Newton de tiempo y espacio absoluto y de la fuerza gravitatoria, dando lugar a la cosmología actual. Habiendo presentado la base teórica general de la cosmología, en capítulos posteriores Thorne discute, entre otros, los siguientes temas:

- la predicción por Karl Schwarzschild en 1916 de la posibilidad de singularidades (más o menos lo que hoy día se conocen como hoyos negros) como un resultado de la teoría de relatividad general, y su rechazo por Einstein y la comunidad de físicos en general (con pocas

excepciones, este rechazo general duraría hasta los años 1950);

- la teoría de Subrahmanyan Chandrasekhar en torno a las estrellas conocidas como enanas blancas y su determinación de que sólo estrellas de 1.4 veces la masa del sol o menos pueden convertirse en enanas blancas al haber agotado su material de reacción nuclear (dejando como incógnita qué pasaría con las estrellas de más de 1.4 la masa del sol);
- el descubrimiento y estudio de implosión como la fase final de estrellas que, al haber agotado su material de reacción nuclear, no pueden resistir la fuerza gravitatoria y se convierten respectivamente, dependiendo de su masa inicial, en enanas blancas, estrellas neutrónicas u hoyos negros;
- la “época de oro” (1964-1975) del estudio de los hoyos negros y el descubrimiento durante ese período de varias características de tales objetos, entre otras, que pueden girar, pulsar, almacenar energía y que “no tiene pelo” (que es un modo gráfico de decir que no hay nada que sobresalga de un hoyo negro, que lo único que puede conocerse del mismo es su masa, velocidad de rotación y carga eléctrica, y que, por tanto, no hay modo de conocer otros detalles de la estrella o estrellas del que un hoyo negro fue formado);
- la búsqueda empírica de hoyos negros y posibles buenos candidatos;
- la posibilidad de que existan hoyos negros gigantes en el centro de algunas galaxias;
- ondas gravitatorias y su búsqueda;
- la evaporación de hoyos negros;
- lo que existe en el interior de un hoyo negro (la cuestión de singularidad);
- hoyos de gusanos (“wormholes”);
- la posibilidad de usar hoyos de gusanos como máquinas de viajar en el tiempo (improbable, concluye Thorne).

A la vez que Thorne cubre estos temas, nos cuenta sobre los personajes envueltos y detalles históricos relacionados. Por ejemplo, mientras explica las teorías de relatividad especial y general, nos relata aspectos de la vida de Einstein, como las dificultades que tuvo para conseguir una posición académica por la impresión poco distinguida que le había causado a sus profesores en el ETH (“Eidgenössische Technische Hochschule” = Instituto Politécnico Federal de Zurich). Si bien el obstáculo principal a una posición académica venía de Heinrich Weber, quien había sido su profesor de física y quien había preferido darle la posición de asistente a dos graduados de ingeniería en vez de a Einstein, Weber no era el único que no tenía una opinión sobresaliente de Einstein como estudiante. Hermann Minkowski, quien fue su profesor de matemáticas, había descrito a Einstein como un “perro vago” (“lazy dog”). Éste es el mismo Minkowski que más tarde, en 1908, elaboró la teoría del espacio-tiempo de cuatro dimensiones utilizando como base la teoría

de relatividad especial descubierta en 1905 por Einstein, para aquel entonces un mero experto técnico tercera clase en la oficina de patentes en Berna (Suiza). Sin embargo, en esto de criticar, Einstein no era un inocente. Por ejemplo, al conocer la teoría de Minkowski, le pareció que lo único que él había hecho fue escribir las leyes de relatividad especial en un lenguaje más matemático y complejo que podría ocultar las ideas físicas que subyacen la teoría. Hasta se puso a hacer chistes de los matemáticos de Göttingen (ciudad en Alemania, cede de una universidad donde Minkowski se había mudado), alegando que describían la teoría de relatividad especial en un idioma tan complicado que los físicos no iban a poder entenderla. Pero, como nos relata Thorne, el chiste le salió a Einstein por la culata, ya que en 1912, se dio cuenta de que la descripción de Minkowski de espacio-tiempo absoluto de cuatro dimensiones era esencial para su proyecto de expandir la teoría de relatividad para incluir la fuerza gravitatoria (relatividad general).

De igual modo conocemos aspectos de la vida de las distintas personas que fueron importantes para el desarrollo del conocimiento de hoyos negros, como, entre otros, los influyentes maestros e investigadores que inspiraron o formaron grupos de estudio que se dedicaron al tema: John Archibald Wheeler en Estados Unidos, Yokov Borisovich Zel'dovich en la antigua Unión Soviética y Dennis Sciama en el Reino Unido. Wheeler y Zel'dovich se destacaron tanto por sus propios trabajos como por el trabajo de sus estudiantes. Aprendemos de las personalidades y estilos distintos de Wheeler y Zel'dovich, de sus logros y fallas, y de sus estudiante y los logros de éstos (Thorpe fue estudiante doctoral de Wheeler). Sciama se destacó más por inspirar estudiantes de la talla de Brandon Carter, Stephen Hawking y Roger Penrose, que por su propio trabajo sobre hoyos negros. Podrían mencionarse muchos más nombres de los investigadores que jugaron un papel importante en el desarrollo del conocimiento de hoyos negros y que figuran a través del libro de Thorne. Como ayuda al lector, al final del libro, bajo el título de "Personajes" ("Characters"), hay una sección donde aparecen más de cuarenta nombres de los actores principales en el drama de los hoyos negros, junto con una breve descripción de los logros de cada uno de ellos. Thorne no solamente fue uno de esos actores principales, sino que se preocupó también de la historia del desarrollo de esas investigaciones. No es usual que una de las personas que figura como un actor principal en una investigación se dedique a la vez a documentar su desarrollo. Los amantes de la ciencia le debemos una deuda doble a Thorne.

La historia del desarrollo del conocimiento de hoyos negros y, en particular, las vidas y anécdotas de las personas que estuvieron envueltos en ese desarrollo podría parecerle a algunas personas como algo superfluo al quehacer científico, como rellano para hacer el libro más legible y, posiblemente, más mercadeable. Pero no es así. Si bien cuando se estudia un trabajo técnico especializado se busca brevedad y la claridad que brindan las ecuaciones y sus derivaciones, también es necesario ver el cuadro entero de un desarrollo científico. La ciencia no es algo que ha sido legado al ser humano por semi-dioses o extraterrestres, no es algo que existe aparte del ser humano y su cultura, sino que es un producto de las aspiraciones y esfuerzos de hombres y mujeres que, como todos, tienen sus fuerzas, debilidades y peculiaridades. Separar la ciencia de su fuente en las aspiraciones de superación terminaría relegándola a un plano de poca importancia para el ser humano, su vida y su cultura. Es necesario recordarnos, especialmente en estos tiempos cuando la gratificación inmediata es enaltecida diariamente por los medios de comunicación, que el ser humano es capaz de aspirar hacia lo bello y permanente, y que la ciencia es precisamente un camino hacia esa trascendencia. Que Thorne tuvo algo semejante en mente mientras escribía su libro está evidenciado por su contestación a la pregunta de lo que considera lo más importante que el lector deba aprender del mismo:

...la capacidad asombrosa de la mente humana —a empellones, por callejones ciegos y saltos de intuición— de descifrar las complejidades del Universo, y revelar la esencial simpleza, elegancia y belleza gloriosa de las leyes fundamentales que la gobiernan.

Se recomienda el libro de Thorne no solamente a los que desean un mejor conocimiento de los hoyos negros y los otros objetos exóticos de la astronomía actual, sino también a los que desean presenciar un buen ejemplo de la búsqueda de la simpleza, elegancia y belleza de las leyes fundamentales del universo.

Hyperspace. Michio Kaku. 359 páginas. Oxford University Press, 1994. Doubleday/Anchorbook \$14.95.

De los cuatro libros reseñados, el de Michio Kaku puede considerarse el más futurístico, en el sentido que no sólo habla de los descubrimientos pasados de la física y de la cosmología, sino también, y, sobre todo, en torno a la teoría en desarrollo que podría explicar más a fondo esos descubrimientos: la teoría de supercuerdas

y el hiperespacio que presupone. El autor, profesor de física teórica en City College of the City University of New York, ha trabajado por muchos años en la teoría de supercuerdas.

La teoría de supercuerdas describe la entidad básica de la realidad no como una partícula-punto sin tamaño, sino como una línea o lazo de energía con la capacidad de rotar y vibrar. Cada modo de resonancia representa una partícula distinta, y las partículas conocidas comúnmente, como, por ejemplo, el electrón, el quark, el fotón, representan los modos más bajos posible de resonancia. El prefijo "super" proviene de la unión de una preliminar teoría de cuerdas con la teoría de supersimetría y supergravedad, y se refiere a unas simetrías especiales que son necesarias para la función unificadora de la teoría. La expectativa es que la teoría de supercuerdas explique de forma simple, elegante y unificadora toda la gama de partículas que ahora explica la teoría conocida como el Modelo Standard y a la vez también explique la naturaleza de espacio-tiempo. Esto implicaría una unificación de las cuatro fuerzas conocidas (la electromagnética, la débil, la fuerte o nuclear, y la gravitatoria); también implicaría la unión tan buscada de las dos revoluciones fundamentales de la física en el siglo veinte, la teoría de relatividad general y la mecánica cuántica.

Según el autor, la teoría de supercuerdas deriva su poder y unicidad de su geometría excepcional: cuerdas vibran de forma consistente solamente en veintiséis y diez dimensiones. Estas dimensiones son lo que permite la teoría tener suficiente "cabida" para poder unificar todas las fuerzas fundamentales. El tema principal del libro es que las leyes de la física se simplifican y se tornan más elegantes en dimensiones más elevadas de las usuales cuatro conocidas (o sea, más allá de las tres de espacio y una de tiempo). El término "hiperespacio" se refiere a espacio-tiempo de más de las cuatro dimensiones comunes, y la geometría excepcional que presupone la teoría de supercuerdas explica por qué se ha dedicado un libro al tema del hiperespacio.

En la primera parte del libro (Part I), Kaku introduce el tema de dimensiones más altas, intercalando explicaciones cuasi-técnicas con varios ejemplos e historietas. Explica las innovaciones introducidas por el matemático Georg Bernhard Riemann, quien en el siglo diecinueve (1854) presentó de forma explícita la existencia (matemática) de dimensiones más altas, y por la teoría Kaluza-Klein (1919-1926), un intento de unir la teoría de Einstein de la gravitación con la teoría de Maxwell de la luz (ondas electromagnéticas) a través de la introducción de una quinta dimensión. Pero también hace una

exposición del libro **Flatland: A Romance of Many Dimensions by a Squaro** de Edwin Abbot (1884), donde se presenta un mundo de dos dimensiones que nos sirve de analogía para entender cómo sería la adición de una dimensión adicional, o sea, “flatland” de dos a tres dimensiones espaciales, el nuestro de las comunes tres espaciales a cuatro espaciales. Además Kaku hace hincapié en la influencia de la noción de cuatro dimensiones espaciales en las artes, la cultura y hasta en los místicos y psíquicos del final del siglo diecinueve y comienzo del veinte.

Aunque la idea clave de la teoría Kaluza-Klein fue, según el autor, un comienzo fructífero para desarrollar un fundamento geométrico de la unión de las fuerzas de la naturaleza, opina que dejó de tener influencia después de 1930 por varias razones, incluyendo la dificultad de verificar experimentalmente la existencia de una quinta dimensión, pero sobre todo porque a partir de mediados de los años 1920 y por los próximos sesenta años, el mundo de la física fue dominado por la revolución de la mecánica cuántica y su intento de conocer las partículas elementales y sus leyes. La idea clave de la teoría Kaluza-Klein tendría que esperar por muchos años para ser revivida.

La tesis principal, incluyendo la teoría de supercuerdas, se presenta en la segunda parte del libro (Part II), que puede considerarse la parte central del mismo. Comienza con una breve explicación de la última explicación de la mecánica cuántica, llamada cromodinámica cuántica (QCD = “quantum chromodynamics”) o el Modelo Standard, que requiere

- seis diferentes quarks con tres “colores” distintos y sus antiquarks
- ocho campos Yang-Mills para describir los gluones, que son las partículas que unen los quarks
- cuatro campos Yang-Mills para explicar la fuerza débil y la electromagnética
- seis tipos de leptones
- un número elevado de las partículas “Higgs” para explicar las masas y los constantes
- y por lo menos diecinueve constantes “arbitrarios” (adjetivo del autor) para describir las masas y las interacciones de las partículas.

Aunque el Modelo Standard ha tenido éxito, Kaku considera que le falta elegancia y simpleza, como indica la lista anterior. Más bien le parece una especie de colección de estampillas por semejanzas que una teoría que fluye de un principio básico, un amalgamamiento de distintas simetrías sin un principio central. Aún los intentos de explicar

a base del Modelo Standard la unión de tres de las cuatro fuerzas de la naturaleza, denominados "Gran Teorías Unificadoras" ("GUTs = Grand Unified Theories"), han resultado tener varias fallas, entre ellas, que no pueden explicar la fuerza gravitatoria, que, a pesar de varios experimentos costosos, no se ha manifestado experimentalmente el decaimiento del protón que predicen, y que no son renormalizables, que significa que algunos cálculos dan números infinitos que no tienen sentido. Por las razones mencionadas, a mediados de los años 1980, los GUTs perdieron su empuje y la idea central de la teoría Kaluza-Klein, apelar a más dimensiones, *ha estado en ascenso*. En palabras del autor, "los físicos estaban tan frustrados con respecto a sus intentos de unificar la fuerza gravitatoria con las otras fuerzas cuánticas que comenzaron a vencer su prejuicio en contra de hiperespacio y de dimensiones no visibles" (140).

La explicación de lo que sucede con las dimensiones espaciales más allá de las tres conocidas es que se enrollan o compactan a un tamaño tan pequeño (se habla de la dimensión Planck, 10^{-33} centímetros) que no pueden detectarse con facilidad. Las múltiples dimensiones y su compactificación constituye el secreto de la "cabida" para unificar todas las fuerzas. Al compactarse la quinta dimensión (antigua teoría Kaluza-Klein), el campo de Maxwell (fuerza electromagnética) surge de la métrica de Riemann (representación matemática para el espacio curvo de la fuerza gravitatoria); al compactarse N dimensiones, el campo Yang-Mills (del Modelo Standard, explicación de las fuerzas débil y fuerte) surge de la ecuación. Cuando los físicos extendieron la teoría Kaluza-Klein de cinco dimensiones a una teoría de N dimensiones, se dieron cuenta de que existía la libertad de importar una simetría al hiperespacio y de unificar las cuatro fuerzas de la naturaleza. La teoría de supercuerdas ha sido, hasta ahora, la representación más sobresaliente de esta tendencia. Al ser la primera teoría cuántica de la gravitación que permite correcciones cuánticas finitas, da lugar, como se dijo al comienzo, a la esperanza de unir las cuatro fuerzas de la naturaleza, de unir la teoría de relatividad general y la mecánica cuántica.

La tercera parte del libro toca los temas exóticos usuales de la cosmología que podrán estar relacionados con el hiperespacio, como hoyos negros, universos paralelos, hoyos de gusanos y hasta la posibilidad de viajar en el tiempo. La exposición de estos temas es concisa en relación al trato extenso que reciben los mismos en el libro de Thorne, a donde el lector que desee una exposición más a fondo de estos temas puede acudir. La cuarta parte del libro, que es la parte más especulativa y futurística, la parte que borda en ciencia-

ficción, especula sobre la posibilidad de domar y utilizar en el futuro el poder que reside en el hiperespacio. Por supuesto, estas especulaciones futuras, aunque interesantes, dependen de que la teoría del hiperespacio resulte ser correcta, algo que en este momento no está decidido.

La teoría de supercuerdas actualmente padece de varias dificultades. El problema fundamental de la teoría es que no se sabe cómo seleccionar la solución correcta de las múltiples soluciones posibles. O sea, existen posiblemente diez de miles de modos de cómo compactar seis de las diez dimensiones para dar un universo de cuatro dimensiones, y actualmente no existe una manera de determinar cuál de las soluciones es la correcta. Según el autor, esta dificultad se debe a que la herramienta matemática principal, la teoría de perturbación, no funciona en cuanto a la teoría de supercuerdas y es menester desarrollar un enfoque no-perturbativo para la misma. Edward Witten, citado por Kaku como el teórico actual más sobresaliente de la teoría de supercuerdas, ha dicho que la teoría requiere la matemática del siglo veintiuno para su solución y que la teoría es una del siglo veintiuno que por una de esas casualidades históricas, los físicos del final del siglo veinte han tenido la dicha de estudiar (vea también las entrevistas, incluyendo la de Witten, en **Superstrings: A Theory of Everything?**, editado por P.C.W. Davies y J. Brown, Cambridge University Press, 1988).

Al no haber una solución única de la teoría de supercuerdas, se hace difícil determinar sus predicciones concretas en relación al universo actual para poner la teoría a prueba. Además de la falta de predicciones concretas específicas, también existe la dificultad de que la unificación de las fuerzas que pronostica la teoría ocurre al nivel Planck de energía, 10^{19} GeV (billones de voltios-electrón). Éste es aproximadamente 10^{16} más que las energías que puedan lograrse en los aceleradores actuales. Sin embargo, Kaku es optimista con respecto a poner la teoría a prueba. Según él, el problema básico no es experimental, sino teórico. Opina que dentro de algunos años, algún físico resolverá matemáticamente la teoría de supercuerdas y se podrá poner a prueba la existencia de diez dimensiones. Como respaldo a su optimismo, menciona varios ejemplos de teorías que se pensaban que no eran verificables experimentalmente y que a los pocos años los físicos encontraron cómo verificarlas, como, por ejemplo, las teorías sobre la composición de las estrellas, la misma teoría de los átomos, y la existencia del neutrino.

Es interesante notar que a mediados del 1995, después de la publicación del libro de Kaku, hubo un descubrimiento que posible-

mente encamine hacia una solución algunas de las dificultades de la teoría de supercuerdas (vea **Science**, Vol. 268, 23 June 1995, p. 1699). Varios teóricos jóvenes (A. Strominger, B. Green y D. Morrison) expusieron que cuerdas y mini hoyos negros —que se supone sean la fase final de la evaporación y decaimiento de hoyos negros grandes— son básicamente dos descripciones de lo mismo. Al tomar en cuenta el efecto cuántico de los estados elementales de mini hoyos negros, existe un especie de transición de fase que elimina ciertas singularidades en las ecuaciones de la teoría de supercuerdas y las hace consistentes. Durante la transición de fase las múltiples soluciones de compactificación se convierten unas en otras, así limitando el número de soluciones. Este descubrimiento, de resultar airoso encaminaría la teoría de supercuerdas a predicciones del mundo real que podrían ser puestas a prueba.

El libro se recomienda para todos los que quieren conocer uno de los campos más emocionantes y especulativos de la física actual. En especial se recomienda para personas que están insatisfechas con la falta de elegancia, belleza y simpleza deductiva del llamado Modelo Standard y con la falta de unión entre la mecánica cuántica y la teoría de relatividad general.

Halley D. Sánchez
Decano
Colegio de Artes y Ciencias
Universidad de Puerto Rico
Mayagüez, Puerto Rico 00681