

LEE SMOLIN HACE UNA CRÍTICA CONSTRUCTIVA DE LA «TEORÍA DEL TODO»

Entra en crisis la teoría de más prestigio en la física teórica

MIGUEL LORENTE

Universidad de Oviedo

Durante tres siglos, a partir de los «Principia» de Newton en 1687, los avances de las ciencias físicas se han ido consolidando no sólo experimentalmente, sino sobre todo teóricamente, de manera que el conocimiento de la naturaleza por el hombre se ha profundizado como nunca en la historia de la humanidad. Se pueden clasificar los grandes descubrimientos en períodos de veinticinco años, desde 1780, entre los que podemos contar las fuerzas eléctricas y magnéticas, las propiedades microscópicas de la materia descritas por la mecánica cuántica y las macroscópicas que estudia la teoría de la relatividad, así como las fuerzas nucleares fuerte y débil que producen las interacciones entre las partículas elementales. Con esto llegamos a 1970 en que se produce un equilibrio entre experimento y teoría por medio de un modelo que unificaba las fuerzas conocidas (exceptuando la gravitatoria) y que se llamó el modelo standard. Pero el exigente control de la especulación por el experimento en el modelo standard dio lugar en los últimos años a portentosas propuestas teóricas que especulaban arriesgadamente sobre la génesis de la estructura microfísica de la materia.

Durante siglos la física teórica ha estado complementada con la física experimental. A partir de 1970 irrumpe la teoría de supercuerdas que pretende solucionar los problemas que afectan a la ciencia (unificación de partículas y fuerzas, paradojas de a mecánica cuántica y gravedad cuántica), pero que no dispone de una técnica adecuada para su comprobación experimental. El optimismo que acogió la nueva teoría se desvanece. Lee Smolin hace un balance de los treinta últimos años en su libro *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*, que él ha vivido, primero como defensor y luego como promotor de alternativas.

LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS A EXAMEN: NACIMIENTO, CAÍDA Y FUTURO

Hasta los años setenta la física teórica y experimental habían ido paralelas, apoyándose mutuamente, pero pronto empezaron las perplejidades. La física teórico-experimental no carecía de problemas y el modelo standard distaba de ser un modo perfecto. No se había encontrado, en efecto, una teoría que unificase los hadrones y los leptones. Lo mismo sucedía además con las fuerzas conocidas, y los cálculos perturbativos de algunas interacciones entre ellas se hacían infinitos.

[Queremos anticipar a los lectores de este artículo que hemos optado por resumir el pensamiento de Smolín ciñéndonos a los términos técnicos para tener mayor exactitud. Esto facilitará la lectura de quienes conozcan el mundo de la física teórica. Para los otros lectores se presentarán dificultades, pero aun así alcanzarán una comprensión intuitiva más real de las cuestiones tratadas por la teoría de cuerdas y las dificultades científicas que Smolin propone.]

LA PRIMERA TEORÍA DE CUERDAS: EXPECTACIÓN Y RESULTADOS

En 1970 tuvo lugar la primera revolución de la teoría de cuerdas, que solucionaba todos los problemas mencionados: se unificaban las partículas y las fuerzas, al mismo tiempo que se eliminaban los infinitos. Pero la nueva hipótesis no encontraba los experimentos apropiados para alcanzar el rango de teoría confirmada. En principio, es legítimo en la ciencia proponer teorías, aunque estas sean especulativas; lo que ocurre es que las buenas teorías científicas deben permitir, de una u otra manera su confrontación con la experiencia.

Pero han pasado tres décadas y las pruebas experimentales siguen sin aparecer (al menos con los medios de que dispone hoy día la técnica experimental). Se multiplican los modelos pero faltan nuevos conceptos, como ha sucedido con otras revoluciones científicas. Lo que se consideraba la «la ciencia del todo» empieza a convertirse en una ilusión que no explica nada. D. Gross, premio Nobel de Física por su trabajo en el modelo standard, se convirtió en un formidable luchador de la teoría de cuerdas, pero recientemente ha dicho: «No sabemos de qué estamos hablando». Y B. Greene añade: «Los investigadores piensan que nuestra formulación de la teoría de cuerdas no posee el núcleo de fundamentos que encontramos en otros grandes descubrimientos».

Esta situación de la Física, que ha acabado en un camino sin salida, ha motivado a Lee Smolin a escribir el libro *The Trouble with Physics. The Rise of String Theory, the Fall of a Science and What Comes Next* (Houghton Mifflin Co., Boston, 2006). Smolin es la persona indicada para hacer la crítica de los últimos treinta años de la física y en particular de la teoría de cuerdas. Ha sido un partidario decidido de la teoría de cuerdas, pero tras años de reflexión objetiva parece haber llegado a consecuencias inevitables que ha tenido la valentía de exponer.

Smolin estudia Física en la Universidad de Harvard, donde obtiene el título de Doctor. Ha sido profesor de Física teórica en las Universidades de Princeton, Yale y Pennsylvania State, y ahora en el Instituto Perimeter de Toronto, del que ha sido uno de sus fundadores. Sus más de un centenar de artículos científicos reflejan su trayectoria, que va desde la teoría de supercuerdas a los «spin networks» de Penrose y la teoría «loop quantum gravity» de Ashtekar. Sus tres libros, *The Life of the Cosmos*, *Three Roads to Quantum Gravity* y *The Trouble with Physics*, reflejan también de forma autobiográfica su trayectoria ideológica, desde un cultivador de la teoría de supercuerdas hasta el desengaño por esta teoría y la búsqueda de alternativas.

PROBLEMAS FUNDAMENTALES DE LAS NUEVAS TEORÍAS

El libro de Smolin no es sólo un libro de historia que expone acontecimientos de los últimos treinta años, sino también un libro programático que trata de analizar la teoría de cuerdas y sus alternativas, con unos principios que todas deben cumplir. Estos principios se postulan al comienzo de libro para que ayuden a hacer la crítica de los intentos que se han hecho en estos treinta últimos años y permitan pensar en el futuro. Smolin los llama problemas, pero en realidad son principios o condiciones necesarias que toda nueva teoría debe cumplir:

- Problema 1 (Principio de la gravedad cuántica): Consistiría en unificar la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica en una sola teoría. Esto implica que la nueva teoría ha de ser independiente del espacio-tiempo contenedor o que éste tenga un carácter dinámico.
- Problema 2 (Problema fundamental de la mecánica cuántica): Resolver las paradojas de la mecánica cuántica de manera que ésta tenga sentido. Por ejemplo, la nueva teoría debe ser realista, o sea, que sea independiente del observador y del aparato de medida.
- Problema 3 (Problema de unificación de las partículas y fuerzas): Unificar todas las partículas elementales (todas las familias de quarks y leptones), así como todas las fuerzas conocidas (gravitatorias, electromagnéticas, nucleares fuertes y débiles).
- Problema 4 (Problema de las constantes universales): Explicar por qué las constantes físicas que aparecen en el modelo standard tienen valores determinados.
- Problema 5 (Materia y energía oscura): Explicar qué es la materia oscura y la energía oscura; o, si estas no existiesen, por qué la gravedad se modificaría tanto a gran escala.

A continuación Smolin hace un breve resumen de la historia que ha llevado a la teoría de supercuerdas.

LA REVOLUCIÓN QUE SE AVECINA

En 1968 G. Veneziano propone un modelo para describir las interacciones entre las partículas elementales. Considera a las partículas como cintas de goma, que se estiran cuando reciben energía y se encogen cuando la pierden. Pronto se cambió la imagen de bandas de goma por la de cuer-

das vibrantes, de modo que a cada partícula correspondía un modo de vibración de esta cuerda. Este modelo era consistente con la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad si el espacio contenedor tenía 26 dimensiones; pero tenía la limitación de que solo admitía bosones y de que permitía taquiones (con velocidad mayor que la de la luz).

En 1979 P. Ramond descubre una nueva simetría (las simetrías sirven para diferenciar las partículas en bosones y fermiones), de tal modo que la nueva simetría, llamada supersimetría, aplicada a las cuerdas unificaba los dos tipos de partículas, y rebajaba el número de dimensiones de 26 a 10 y además no contenía taquiones. Por otro lado, al unirse una cuerda por sus extremos daba lugar a una fuerza que dependía de la tensión y del movimiento de la cuerda. Si la cuerda era abierta se producía la fuerza gravitatoria, si era cerrada, las demás fuerzas. Por consiguiente, las cuerdas supersimétricas o supercuerdas unificaban todas las partículas y las fuerzas conocidas.

LA REVOLUCIÓN DE LAS SUPERCUERDAS

En 1984 Schwarz y Green descubren una propiedad en la teoría de supercuerdas que suscita el interés de la comunidad científica. Los cálculos perturbativos para las interacciones entre dos cuerdas eran finitos hasta el segundo orden. Y en 1992 Mandelstam prueba que los desarrollos perturbativos eran finitos, término a término, lo cual produjo la sensación que se había conseguido una teoría definitiva, una auténtica revolución científica.

Pero quedaban muchos problemas por resolver: al pasar del modelo standard, con muchas constantes sin determinar, a la teoría de supercuerdas con una sola constante, pero con mayor número de dimensiones, se encontraban soluciones diferentes que daban lugar a diferentes teorías. En particular se habían encontrado cinco soluciones diferentes que conducían a cinco teorías de supercuerdas.

En 1995 Witten en una famosa conferencia en la Universidad de Los Ángeles prueba que se pueden unificar, dos a dos, las cinco teorías de supercuerdas utilizando la T-dualidad (que se produce cuando una cuerda se enrolla alrededor del círculo formado por la dimensión extra compactificada) o por la S-dualidad (cuando una teoría tiene una constante de acoplamiento igual a la inversa de la constante de acoplamiento de la segunda teoría). En la misma conferencia Witten consiguió probar que si se ampliaba el espacio-tiempo a once dimensiones, las cinco teorías de supercuerdas eran idénticas, y además estas teorías de supercuerdas se podían hacer derivar de una teoría fundamental que él llamó M-teoría (*Magic-theory*), pero que no especificó en qué consistía.

Empezó la carrera para descubrir la M-teoría. Uno de los oyentes, Polchinski, presentó a los pocos meses una nueva teoría basada en objetos elementales de dos dimensiones (recuérdese que la cuerda es un objeto de una dimensión) que él llamó D-branas (abreviatura de membrana). Se puede probar que las fluctuaciones de las branas lleva directamente a la M-teoría.

En 1997 Maldacena presenta una nueva dualidad entre las teorías de supercuerdas, más atrevida que la T-dualidad y la S-dualidad. En ella se identifica una teoría de supercuerdas de dimensión 4 con una teoría gauge de dimensión 3 (recuérdese que una teoría gauge sirve para determinar un objeto por el conjunto de simetrías y consigue diferenciar los objetos que poseen las mismas simetrías por un mecanismo llamado ruptura de simetrías).

UNA TEORÍA DEL TODO

En 1998 se descubre la energía oscura del universo, cuyo efecto producía una aceleración positiva en la expansión del universo. Producía los mismos efectos que la constante cosmológica de signo positivo (Einstein propuso por primera vez la constante cosmológica para evitar la expansión y describir un universo estático). Los experimentos recientes habían encontrado un valor muy pequeño para la constante cosmológica. Las teorías de supercuerdas tienen que tener en cuenta este valor para conseguir que ser realistas y no ser rechazadas. Según este criterio se pueden considerar cuatro situaciones de teorías de supercuerdas:

1. Cuerdas que se mueven en un espacio fijo de dimensión 10 con términos perturbativos finitos hasta de segundo orden. La constante cosmológica es nula.

2. Teoría de cuerdas que son idénticas a las teorías gauge con una dimensión menor, siguiendo el criterio de Maldacena. La constante cosmológica es negativa.
3. Existe un sinnúmero de teorías de supercuerdas que se mueven en un espacio-tiempo dinámico donde la constante cosmológica puede ser positiva.
4. Existe una teoría de dimensión 26, sin fermiones, llamada la cuerda bosónica, pero esta teoría admite taquiones, que hace a la teoría poco consistente.

Todas estas teorías se podrían deducir de una teoría fundamental llamada M-teoría, cuya formulación más exacta desconocemos.

CÓMO RESPONDEN LAS TEORÍAS DE SUPERCUERDAS A LOS CINCO PROBLEMAS

Después de haber recorrido los principales avances que han conseguido las teorías de supercuerdas, es hora de hacer un balance de dichas teorías con respecto a los cinco grandes problemas que pone Smolin al comienzo del libro:

- Problema 1: La teoría de supercuerdas no unifica la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad, porque las ecuaciones de esta última son independientes del espacio-tiempo de referencia (como dicen los matemáticos las leyes de la física son invariantes bajo «difeomorfismos»).
- Problema 2: La teoría de supercuerdas no dice nada sobre una teoría fundamental que resuelva las paradojas de la mecánica cuántica.
- Problema 3: La teoría de supercuerdas unifican todas las partículas conocidas (bosones y fermiones), así como todas las fuerzas y las partículas gauge portadoras de las fuerzas (gravitones, fotones, gluones y partículas W) que son producidas por vibraciones de las cuerdas.
- Problema 4: La teoría de supercuerdas no puede explicar los valores de los parámetros que aparecen en el modelo standard solamente a partir de los valores constantes arbitrarios que poseen las supercuerdas (tensión y constante de acoplamiento).
- Problema 5: La teoría de supercuerdas no explica qué es la materia y la energía oscura. Los axiones se podrían identificar con la materia oscura, pero esta identificación no se puede deducir de la teoría de supercuerdas.

TEORÍAS ALTERNATIVAS A LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS

Hemos visto las dificultades teóricas que tienen la teoría de supercuerdas y su falta de comprobación experimental. Smolin ha propuesto algunas de las teorías alternativas, sin renunciar a nada, a la espera de que nuevas experiencias vengan a confirmar alguna de las alternativas o las mismas teorías de supercuerdas.

Una de las alternativas comienza por criticar la teoría de la relatividad de Einstein. Según esta teoría, en sistemas inerciales se mueven con la velocidad de la luz, dos observadores lo verían con la misma velocidad y si un observador ve un objeto moviéndose con velocidad menor que la de la luz, el otro observador lo verá también con menor velocidad. En 1999 Amelino-Camelia aplica esta situación a las distancias, y en particular a la longitud de Planck. Si un objeto tiene la longitud de Planck, dos observadores en sistemas de referencia en sistemas de referencia equivalentes verán el objeto con la misma longitud, y si el objeto es mayor que la longitud de Planck, los dos observadores la verán con longitud mayor. Esto significa que en el orden de magnitud de la longitud de Planck no rigen las leyes de la teoría de la relatividad especial, por lo cual Amelino-Camelia llamó a esta teoría «doble relatividad especial». En realidad lo que se proponía en esta teoría eran las leyes clásicas para valores muy alejados de la constante de Planck y las leyes cuánticas para valores muy próximos a la constante de Planck.

Otras alternativas provienen de modelos que son independientes del espacio-tiempo contenedor, de modelos de espacio y tiempo discretos y de modelos que se basan en el principio de causalidad. Estas tres propiedades han dado origen a la «causal dynamical triangulation de Ambjorn y Loll» y los «causal sets» de Sorkin que son modelos muy consistentes de gravedad cuántica, en los

cuales el espacio-tiempo emerge como consecuencia de las relaciones entre los sucesos más elementales.

También Penrose en 1961 presenta su modelo de los «spin networks» que es discreto y relacional, donde el espacio-tiempo emerge como consecuencia de las combinaciones de los spines que cumplen las leyes de la mecánica cuántica. Aunque este modelo se podría identificar con «causal sets» discretos de Sorkin, Penrose lo amplía a la teoría de los twistors que se mueven en un espacio-tiempo complejo para admitir las transformaciones de los vectores de posición (discreto) y momento (continuo). La teoría de los twistor ha sido continuada por numerosos matemáticos y físicos, porque ofrece un marco riguroso donde describir todos los campos y partículas conocidos incluyendo la relatividad general.

Otra teoría alternativa ha sido la «geometría no conmutativa» de A. Connes, según la cual las magnitudes físicas y matemáticas no conmutan (AB no es igual a BA). Es una teoría que unifica las funciones algebraicas y geométricas de manera que se deduce inmediatamente el modelo standard.

La teoría que más se ha enfrentado como alternativa a las supercuerdas es «loop quantum gravity» que fue propuesta por Ashtekar en 1986. En ella probó que la teoría de la relatividad general se podía expresar como una teoría gauge con solo introducir unas nuevas variables.

Cuando tratamos de describir las líneas del campo gauge no necesitamos de un espacio-tiempo contenedor, sino que las líneas de campo definen la geometría del espacio. Esta geometría está definida por un grafo (conexiones entre vértices y aristas), que evolucionan a nuevas estructuras, de las que emerge la estructura subyacente del espacio-tiempo. Por otra parte como las conexiones en un grafo pueden ser muy complicadas, dependiendo del tipo de lazos que se construyen entre las aristas que unen dos vértices, esta diversidad de lazos da lugar a las diferentes familias de partículas elementales, como recientemente han demostrado 2006 e Bilson-Thompson, Markopoulou y Smolin.

Según Hofmann y Winkler, las predicciones de la teoría «loop quantum gravity» podrán observarse experimentalmente en las oscilaciones de la radiación de fondo.

LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS HA BLOQUEADO OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El libro de Smolin acaba con unos capítulos dedicados a los aspectos sociológicos y filosóficos de la teoría de supercuerdas. Los peligros de esta teoría son patentes. Han invadido las Universidades y Centros de investigación de todo el mundo, de modo que los investigadores jóvenes que no quieran trabajar en dicha teoría tienen cerrado prácticamente el camino a dichos centros. Smolin ha resumido la postura de las comunidades de supercuerdas con estos rasgos:

1. Considerable autosuficiencia y conciencia de pertenecer a una élite.
2. Comunidades monolíticas con gran uniformidad de opiniones sobre cuestiones abiertas, generalmente impuestas por los que constituyen la jerarquía de la comunidad.
3. Sentido de identificación con el grupo parecido a la pertenencia de una comunidad religiosa o partido político.
4. Sentido de frontera entre el grupo y otros expertos.
5. Gran desinterés por las ideas y personas que no son del grupo.
6. Una confianza excesiva en interpretar positivamente los resultados e incluso aceptarlos exclusivamente porque son creídos por la mayoría.
7. Una falta de percepción del riesgo que conlleva una nueva teoría.

ÉTICA DE UNA COMUNIDAD CIENTÍFICA

Smolin defiende que el éxito de una comunidad científica no es solamente por la adherencia a una teoría, sino por la adherencia a una ética. Smolin resume en dos principios esta ética:

1. Si un resultado puede ser decidido por personas de buena fe, después de aplicar argumentos razonables con la evidencia pública disponible, entonces tiene que ser aceptada como tal.

2. Por otra parte, si los argumentos racionales tomados de la evidencia públicamente disponible, no consiguen poner de acuerdo a las personas de buena voluntad, la sociedad tiene que permitir y animar a la gente a sacar conclusiones diversas.

Smolin saca algunas conclusiones de estos principios:

1. Estamos de acuerdo en argumentar racionalmente y de buena fe a partir de la evidencia, cualquiera que sea el grado de evidencia compartida.
2. Cada científico es libre de desarrollar sus propias conclusiones a partir de la evidencia. Pero cada científico tiene la obligación de presentar argumentos sacados de la evidencia a la comunidad científica.
3. La habilidad de los científicos para deducir resultados fiables de la evidencia compartida se basa en el dominio de los medios experimentales y procedimientos desarrollados durante muchos años.
4. Cada miembro de la comunidad científica reconoce que el fin provisional es el conseguir consenso. Los jueces finales de un trabajo científico son los futuros miembros de la comunidad científica, de tal manera alejados del trabajo en cuestión que estén en condiciones idóneas para emitir un juicio objetivo.
5. La pertenencia a una comunidad científica está abierta a todo ser humano. La entrada en la comunidad esta basada en dos criterios. Preparación suficiente para desarrollar un trabajo con plena independencia y la adhesión continuada a la ética comunitaria.
6. Aunque la ortodoxia esté permitida temporalmente en un campo subordinado, la comunidad reconoce que las opiniones contrarias y los programas de investigación son necesarios para la salud continua de la comunidad científica.

[Texto básico publicado en Tendencias21.net,
por la Cátedra CTR, Escuela Técnica Superior de Ingeniería,
Universidad Comillas, Madrid]

MIGUEL LORENTE