

## TEORÍA DE CUERDAS Y DE SUPERCUERDAS

La **teoría de cuerdas** es un modelo fundamental de física teórica que básicamente asume que las partículas materiales aparentemente puntuales son en realidad "estados vibracionales" de un objeto extendido más básico llamado "cuerda" o "filamento".

De acuerdo con esta propuesta, un electrón no es un "punto" sin estructura interna y de dimensión cero, sino un amasijo de cuerdas minúsculas que vibran en un espacio-tiempo de más de cuatro dimensiones. Un punto no puede hacer nada más que moverse en un espacio tridimensional. De acuerdo con esta teoría, a nivel "microscópico" se percibiría que el electrón no es en realidad un punto, sino una *cuerda en forma de lazo*. Una cuerda puede hacer algo además de moverse; puede oscilar de diferentes maneras. Si oscila de cierta manera, entonces, *microscópicamente* veríamos un electrón; pero si oscila de otra manera, entonces veríamos un fotón, o un quark, o cualquier otra partícula del modelo estándar. Esta teoría, ampliada con otras como la de las supercuerdas o la Teoría M, pretende alejarse de la concepción del punto-partícula.

La siguiente formulación de una teoría de cuerdas se debe a Jöel Scherk y John Henry Schwarz, que en 1974 publicaron un artículo en el que mostraban que una teoría basada en objetos unidimensionales o "cuerdas" en lugar de partículas puntuales podía describir la fuerza gravitatoria. Aunque estas ideas no recibieron en ese momento mucha atención hasta la Primera revolución de supercuerdas de 1984. De acuerdo con la formulación de la teoría de cuerdas surgida de esta revolución, las teorías de cuerdas pueden considerarse de hecho un caso general de teoría de Kaluza-Klein cuantizada. Las ideas fundamentales son dos:

- Los objetos básicos de la teoría no serían partículas puntuales sino objetos unidimensionales extendidos (en las cinco teorías de cuerdas convencionales estos objetos eran unidimensionales o "cuerdas"; actualmente en la teoría-M se admiten también de dimensión superior o "p-branas"). Esto renormaliza algunos infinitos de los cálculos perturbativos.
- El espacio-tiempo en el que se mueven las cuerdas y p-branas de la teoría no sería el espacio-tiempo ordinario de 4 dimensiones sino un espacio de tipo Kaluza-Klein, en el que a las cuatro dimensiones convencionales se añaden 6 dimensiones compactificadas en forma de variedad de Calabi-Yau. Por tanto convencionalmente en la teoría de cuerdas existe 1 dimensión temporal, 3 dimensiones espaciales ordinarias y 7 dimensiones compactificadas e inobservables en la práctica.

La inobservabilidad de las dimensiones adicionales está ligada al hecho de que éstas estarían compactificadas, y sólo serían relevantes a escalas pequeñas comparables con la longitud de Planck. Igualmente, con la precisión de medida convencional las cuerdas cerradas con una longitud similar a la longitud de Planck se asemejarían a partículas puntuales.

Tras la introducción de las teorías de cuerdas, se consideró la conveniencia de introducir el principio de que la teoría fuera supersimétrica; es decir, que admitiera una simetría abstracta que relacionara fermiones y bosones. Actualmente la mayoría de teóricos de cuerdas trabajan en teorías supersimétricas; de ahí que la teoría de cuerdas actualmente se llame teoría de supercuerdas. Esta

última teoría es básicamente una teoría de cuerdas supersimétrica; es decir, que es invariante bajo transformaciones de supersimetría.

Actualmente existen cinco teorías de supercuerdas relacionadas con los cinco modos que se conocen de implementar la supersimetría en el modelo de cuerdas. Aunque dicha multiplicidad de teorías desconcertó a los especialistas durante más de una década, el saber convencional actual sugiere que las cinco teorías son casos límites de una teoría única sobre un espacio de 11 dimensiones (las 3 del espacio, 1 temporal y 6 adicionales resabiadas o "compactadas" y 1 que las engloba formando "membranas" de las cuales se podría escapar parte de la gravedad de ellas en forma de "gravitones"). Esta teoría única, llamada teoría M, de la que sólo se conocerían algunos aspectos, fue conjeturada en 1995.

La teoría de supercuerdas es algo actual. En sus principios (mediados de los años 1980) aparecieron unas cinco teorías de cuerdas, las cuales después fueron identificadas como límites particulares de una sola teoría: la teoría M. Las cinco versiones de la teoría actualmente existentes, entre las que pueden establecerse varias relaciones de dualidad son:

1. La **Teoría de cuerdas de Tipo I**, donde aparecen tanto "cuerdas" y D-branas abiertas como cerradas, que se mueven sobre un espacio-tiempo de 10 dimensiones. Las D-branas tienen 1, 5 y 9 dimensiones espaciales.
2. La **Teoría de cuerdas de Tipo IIA**, es también una teoría de 10 dimensiones pero que emplea sólo cuerdas y D-branas cerradas. Incorpora los gravitones (partículas teóricas asociadas al gravitón mediante relaciones de supersimetría). Usa D-branas de dimensión 0, 2, 4, 6, y 8.
3. La **Teoría de cuerdas de Tipo IIB**. Difiere de la teoría de tipo IIA principalmente en el hecho de que esta última es no quiral (conservando la paridad).
4. La **Teoría de cuerda heterótica SO(32) (Heterótica-O)**, basada en el grupo de simetría O(32).
5. La **Teoría de cuerda heterótica E8xE8 (Heterótica-E)**, basada en el grupo de Lie excepcional E<sub>8</sub>. Fue propuesta en 1987 por Gross, Harvey, Martinec y Rohm.

El término teoría de cuerda se refiere en realidad a las teorías de cuerdas bosónicas de 26 dimensiones y la teoría de supercuerdas de 10 dimensiones, esta última descubierta al añadir supersimetría a la teoría de cuerdas bosónica. Hoy en día la teoría de cuerdas se suele referir a la variante supersimétrica, mientras que la antigua se conoce por el nombre completo de "teoría de cuerdas bosónicas". En 1995, Edward Witten conjeturó que las cinco diferentes teorías de supercuerdas son casos límite de una desconocida teoría de 11 dimensiones llamada Teoría-M. La conferencia donde Witten mostró algunos de sus resultados inició la llamada Segunda revolución de supercuerdas.

En esta teoría M intervienen como objetos animados físicos fundamentales no sólo cuerdas unidimensionales, sino toda una variedad de objetos no perturbativos, extendidos en varias dimensiones, que se llaman colectivamente p-branas (este nombre es una aféresis de "membrana").

Aunque la teoría de cuerdas, según sus defensores, pudiera llegar a convertirse en una de las teorías físicas más predictivas, capaz de explicar algunas de las propiedades más fundamentales de la naturaleza en términos geométricos, los físicos que han trabajado en ese campo hasta la fecha no han podido hacer predicciones concretas con la precisión necesaria para confrontarlas con datos experimentales. Dichos problemas de predicción se deberían, según el autor, a que el modelo no es falsable, y por tanto, no es científico,<sup>2</sup> o bien a que «La teoría de las supercuerdas es tan ambiciosa que sólo puede ser del todo correcta o del todo equivocada. El único problema es que sus matemáticas son tan nuevas y tan difíciles que durante varias décadas no sabremos cuáles son».<sup>3</sup> 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*".<sup>4</sup>

si los teóricos de cuerdas se equivocan, no pueden equivocarse sólo un poco. Si las nuevas dimensiones y las simetrías no existen, consideraremos a los teóricos de cuerdas unos de los mayores fracasados de la ciencia (...). Su historia constituirá una leyenda moral de cómo no hacer ciencia, de cómo no permitir que se sobrepasen tanto los límites, hasta el punto de convertir la conjetura teórica en fantasía

Lee Smolin

La teoría de cuerdas o la Teoría M podrían no ser falsables, según sus críticos.<sup>6 7 8 9 10</sup> Diversos autores han declarado su preocupación de que la Teoría de cuerdas no sea falsable y como tal, siguiendo las tesis del filósofo de la ciencia Karl Popper, la Teoría de cuerdas sería equivalente a una pseudociencia.

El filósofo de la ciencia Mario Bunge ha manifestado lo siguiente:

- La consistencia, la sofisticación y la belleza nunca son suficientes en la investigación científica.
- La Teoría de cuerdas es sospechosa (de pseudociencia). Parece científica porque aborda un problema abierto que es a la vez importante y difícil, el de construir una teoría cuántica de la gravitación. Pero la teoría postula que el espacio físico tiene seis o siete dimensiones, en lugar de tres, simplemente para asegurarse consistencia matemática. Puesto que estas dimensiones extra son inobservables, y puesto que la teoría se ha resistido a la confirmación experimental durante más de tres décadas, parece ciencia ficción, o al menos, ciencia fallida.
- La física de partículas está inflada con sofisticadas teorías matemáticas que postulan la existencia de entidades extrañas que no interactúan de forma apreciable, o para nada en absoluto, con la materia ordinaria, y como consecuencia, quedan a salvo al ser indetectables. Puesto que estas teorías se encuentran en discrepancia con el conjunto de la Física, y violan el requerimiento de falsacionismo, pueden calificarse de pseudocientíficas, incluso aunque lleven pululando un cuarto de siglo y se sigan publicando en las revistas científicas más prestigiosas.

Smolin indica que la teoría de cuerdas se ha convertido en el principal camino de exploración de *las grandes cuestiones de la física* debido a una agresiva promoción, considerando que resulta prácticamente un "*suicidio profesional*" para cualquier joven físico

teórico no ingresar en sus filas. Expone además que *a pesar de la escasa inversión en [...] otros campos de investigación, algunos de ellos han avanzado más que el de la teoría de cuerdas* e identifica los siguientes rasgos en las "comunidades de supercuerdas":<sup>5</sup>

1. Tremenda 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.

La **teoría de supercuerdas** es un esquema teórico para explicar todas las partículas y fuerzas fundamentales de la naturaleza en una sola teoría, que modela las partículas y campos físicos como vibraciones de delgadas cuerdas supersimétricas, las cuales se mueven en un espacio-tiempo de más de 4 dimensiones.

Una de las motivaciones esgrimidas por los teóricos de las supercuerdas es que el esquema es una de las mejores teorías candidatas para formular una teoría cuántica de la gravedad. La teoría de las supercuerdas es una taquigrafía de la teoría supersimétrica de cuerdas porque, a diferencia de la teoría de cuerdas bosónica, ésta es la versión de la teoría de cuerdas que, mediante la supersimetría, incorpora a los fermiones.

La teoría de las supercuerdas comprende cinco teorías o formulaciones alternativas de teorías de cuerdas combinadas, en la que se han introducido requerimientos de supersimetría. El nombre de teoría de cuerdas se usa actualmente como sinónimo, ya que todas las teorías de cuerdas ampliamente estudiadas son, de hecho, teorías de supercuerdas.

La idea fundamental es que las partículas en realidad son cuerdas que vibran en resonancia a una frecuencia de la longitud de Planck y en donde el gravitón sería una cuerda de espín 2 y masa nula.

Recientemente se ha podido probar que varias de estas formulaciones son equivalentes y tras todas ellas podría existir una teoría unificada o teoría del todo. Las cinco teorías existentes no serían más que casos límite particulares de esta teoría unificada, denominada provisionalmente como Teoría M. Esta teoría M intenta explicar a la vez todas las partículas subatómicas existentes y unificar las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. Define el universo formado por multitud de cuerdas vibrantes, ya que es una versión de la teoría de cuerdas que incorpora fermiones y la supersimetría.

El principal problema de la física actual es poder incorporar la fuerza de la gravedad tal y como la explica la teoría de la relatividad general al resto de las fuerzas físicas ya unificadas. La teoría de las supercuerdas sería un método de unificación de dichas teorías. La teoría está lejos de estar acabada y perfilada, ya que hay muchísimas variables sin definir, por lo que existen varias versiones de la misma.

Aunque el universo físico observable tiene tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal, nada prohíbe a una teoría describir un universo con más de cuatro dimensiones, especialmente si existe un mecanismo de "inobservabilidad aparente" de las dimensiones adicionales. Ése es el caso de la teoría de cuerdas y la teoría de supercuerdas que postulan dimensiones adicionales compactificadas y que sólo serían observables en fenómenos físicos que involucran altísimas energías. En el caso de la teoría de supercuerdas, la consistencia de la propia teoría requiere un espacio-tiempo de 10 ó 26 dimensiones. El conflicto entre la observación y la teoría se resuelve compactando las dimensiones que no se pueden observar en el rango de energías habituales. De hecho, la teoría de supercuerdas no es la primera teoría física que propone dimensiones espaciales extra; a principios del siglo XX se propuso una teoría geométrica del campo electromagnético y gravitatorio conocida como teoría de Kaluza-Klein que postulaba un espacio-tiempo de 5 dimensiones. Posteriormente la idea de Kaluza y Klein se usó para postular la teoría de la supergravedad de 11 dimensiones que también utiliza la supersimetría.

La mente humana tiene dificultad visualizando dimensiones mayores porque solo es posible moverse en 3 dimensiones espaciales. Una manera de tratar con esta limitación es no intentando visualizar dimensiones mayores del todo sino simplemente pensando, al momento de realizar ecuaciones que describan un fenómeno, que se deben realizar más ecuaciones de las acostumbradas. Esto abre las interrogantes de que estos 'números extra' pueden ser investigados directamente en cualquier experimento (donde se mostrarían resultados en 1, 2, 2+1 dimensiones a científicos humanos). Así, a su vez, aparece la pregunta de si este tipo de modelos que se investigan en este modelado abstracto (y aparatos experimentales potencialmente imposibles) puedan ser considerados 'científicos'. Las formas de seis dimensiones de Calabi-Yau pueden contar con dimensiones adicionales por la teoría de supercuerdas.

Una teoría que la generaliza es la teoría de branas, en donde las cuerdas son sustituidas por constituyentes elementales de tipo "membrana", de ahí su nombre. La existencia de 10 dimensiones es matemáticamente necesaria para evitar la presencia de incongruencias matemáticas en su enunciado.

La relatividad general normalmente se refiere a situaciones que envuelven objetos masivos grandes en lejanas regiones del espacio-tiempo donde la mecánica cuántica se reserva para escenarios a escala atómica (regiones pequeñas de espacio-tiempo). Las dos son muy difíciles de unir, y el caso más común en donde se combina su estudio son los agujeros negros. Teniendo "picos de densidad" o máximas cantidades de materia posible en el espacio, y un área muy pequeña, las dos deben ser usadas en sincronía para predecir condiciones en ciertos lugares; aun cuando son usados juntos, las ecuaciones se desmoronan y brindan respuestas imposibles, tales como distancias imaginarias y menos de una dimensión.

El mayor problema con su congruencia es que, a dimensiones menores a las de Planck, la relatividad general predice una certeza, una superficie fluida, mientras que la mecánica cuántica predice una probabilidad, una superficie deformada; que no son compatibles.