

## Las cuerdas. Reflexiones

### La teoría:

Sobre el origen de la teoría, digamos que a fines de los años 60, las propiedades de las partículas hadrónicas no podían explicarse en el contexto de la teoría cuántica de campos. Buscando una expresión matemática que describiera los resultados experimentales, se descubrió accidentalmente que aquella que mejor reproducía los datos, no correspondía a la interacción de partículas puntuales, sino de objetos extendidos en una dimensión. Se pensó que los objetos elementales podían ser cuerdas vibrantes.

La teoría de cuerdas establece que toda la materia y toda la energía, en cualesquiera de sus formas, está compuesta por diminutos filamentos de energía, abiertos o cerrados, cuyas morfologías, vibraciones y formas de movimiento definen los diferentes tipos de materia o energía.

Durante décadas del pasado siglo XX se pensaba que las partículas más pequeñas dentro de un átomo eran partículas concretas: los electrones describiendo órbitas alrededor de núcleos formados por protones y neutrones, los cuales a su vez estaban formados por quarks. La teoría de cuerdas sin embargo afirma que eso que considerábamos partículas indivisibles son en realidad cuerdas o hilos vibrantes, ya se trate de filamentos cerrados o de filamentos abiertos.

Se piensa que si logramos dominar los ritmos de vibración y movimiento de estas cuerdas, podríamos llegar a explicar toda la materia y todas las fuerzas de la naturaleza, desde las micropartículas atómicas hasta las estructuras galácticas. Este sería el más grande potencial que encierra la teoría: el llegar a ser una teoría del todo unificada.

La idea básica es que los constituyentes fundamentales de la realidad son cuerdas de una longitud de Planck (cerca de  $10^{-35}$  m) que vibran a frecuencias de resonancia. Cada cuerda en teoría tiene una única resonancia, o armonía. Diferentes armonías determinan diferentes fuerzas fundamentales. La tensión en la cuerda es del orden de las fuerzas de Planck ( $10^{44}$  N). El gravitón (nombre propuesto para la partícula portadora de la fuerza gravitacional), por ejemplo, es predicha por la teoría que sea una cuerda con amplitud cero.

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. De hecho, la teoría de cuerdas 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.

La mente humana tiene dificultad para visualizar 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 explicitar más ecuaciones de las acostumbradas. Esto abre las interrogantes de que estos 'números extra' pueden ser investigados directamente en cualquier experimento.

Pero los físicos teóricos estaban perplejos por la existencia de cinco diferentes teorías de cuerdas. Esto aconteció bajo la denominada segunda revolución de supercuerdas en los años 1990 donde fueron postuladas las 5 teorías con diferente aparato matemático, resultando ser diferentes casos límite de una única teoría, que a partir de 1995 se denominaría teoría M.

Teoría de Cuerdas		
Tipos	Dimensiones Espaciales	Detalles
Bosónica	26	Solo bosones, no fermiones, significa solo fuerzas, no materia, con cuerdas abiertas y cerradas; mayor defecto: una partícula con masa imaginaria llamada taquión.
I	10	Supersimetría entre fuerza y materia, con cuerdas abiertas y cerradas, libre de taquiones, grupo de simetría SO(32)
IIA	10	Supersimetría entre fuerza y materia, solo con cuerdas cerradas, libre de taquiones, fermiones sin masa que giran a ambas direcciones
IIB	10	Supersimetría entre fuerza y materia, solo con cuerdas cerradas, libre de taquiones. fermiones sin masa que giran en una sola dirección
HO	10	Supersimetría entre fuerza y materia, solo con cuerdas cerradas, libre de taquiones, heterótica, difieren entre cuerdas de movimiento derecho e izquierdo, grupo de simetría es SO(32)
HE	10	Supersimetría entre fuerza y materia, solo con cuerdas cerradas, libre de taquiones, heterótica, difieren entre cuerdas de movimiento derecho e izquierdo, grupo de simetría $E_8 \times E_8$

(tabla de Wikipedia)

### Sobre la integración de relatividad y mecánica cuántica:

La relatividad general normalmente se refiere a situaciones que envuelven objetos masivos grandes en lejanas regiones del espacio-tiempo mientras que 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 máximo de 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; aunque cuando son usadas juntas, 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, predicciones que no son compatibles. La teoría de supercuerdas intenta resolver este requerimiento, remplazando la idea clásica de partículas puntuales con bucles.

Esos bucles tendrían un diámetro promedio de una longitud de Planck, con variaciones extremadamente pequeñas, que ignora completamente las predicciones de la mecánica cuántica a dimensiones menores a las de Planck, y que para su estudio no toma en cuenta esas longitudes.

### **Falsacionismo:**

La crítica principal de que es objeto la Teoría de cuerdas es de que sea, fundamentalmente, imposible de falsar, debido a su naturaleza intrínseca: tiene la suficiente flexibilidad matemática como para que sus parámetros se puedan moldear para encajar con cualquier tipo de *realidad* observada.

Muchos científicos han declarado su preocupación de que la Teoría de cuerdas no sea falsable y que además, carezca de poder predictivo, y como tal, y siguiendo las tesis del filósofo de la ciencia Karl Popper, la teoría de cuerdas sería equivalente a una pseudociencia.

Tal y como se entiende en la actualidad, tiene un número gigantesco de posibles soluciones.

El filósofo de la ciencia Mario Bunge ha manifestado:

*1\_ La consistencia, la sofisticación y la belleza nunca son suficientes en la investigación científica.*

*2\_ 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 más 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.*

*3\_ 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.*

Mario Bunge, 2006.

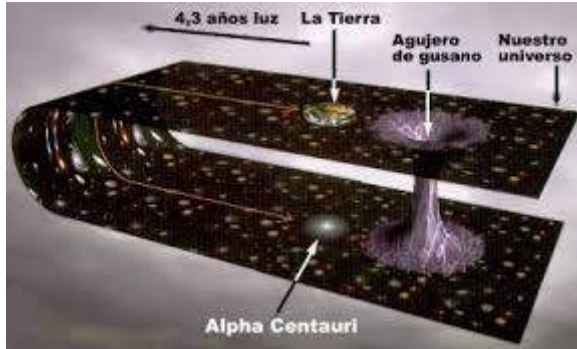
Para ilustrar la confusa situación que domina este campo de investigación, baste citar el llamado escándalo Bogdanov, dos hermanos que consiguieron publicar en prestigiosas revistas científicas teorías absurdas y carentes de sentido. El físico alemán Max Niedermaier concluyó que se trataba de pseudociencia, escrita con una densa jerga técnica, para evitar el sistema de revisión por pares de la física teórica. Según el físico-matemático John Baez, su trabajo *"es una mezcla de frases aparentemente plausibles que contienen las palabras técnicas correctas en el orden aproximadamente correcto. Pero no hay lógica ni cohesión en lo que escriben."* Según el físico Peter Woit en la prestigiosa revista Nature: *"El trabajo de los Bogdanov resulta significativamente más incoherente que cualquier otra cosa publicada. Pero el creciente bajo nivel de coherencia en todo el campo les permitió pensar que habían hecho algo sensato, y publicarlo."*

### **Explicación del viaje entre regiones remotas:**

Todo recorrido requiere siempre un tiempo para efectuarse. Podemos obviamente reducir la duración del viaje aumentando la velocidad. Pero también sabemos, de la

relatividad, que existe un límite al aumento de velocidad y que tal límite viene dado por la velocidad de la luz.

También podemos reducir la distancia entre dos puntos mediante lo que se da en llamar *agujero de gusano*. Por la relatividad general sabemos que el espacio se puede curvar, contraer o estirar, aunque nunca se puede rasgar o perforar. La idea es que pudieran existir puentes o túneles uniendo lejanas regiones del espacio que se ha aproximado por curvatura. Serían realmente *atajos cósmicos*.



Para construir un agujero de gusano sería necesario perforar o rasgar el tejido espacial entre dos puntos del espacio curvado. Lo cual no es posible.

Crédito imagen: [http://wikicharlie.cl/w/Agujero\\_de\\_gusano](http://wikicharlie.cl/w/Agujero_de_gusano)

Para construir un agujero de gusano sería necesario perforar o rasgar el tejido espacial entre dos puntos del espacio curvado. Lo cual no es posible.

Mediante estiramientos, contracciones o curvatura se puede hacer que un objeto de  $n$  agujeros se transforme en otro de también  $n$  agujeros. Si no tuvieran el mismo número de agujeros sería necesario rasgar, romper, el espacio, cosa que prohíbe la relatividad.

No sabemos si los agujeros de gusano existen o no en la naturaleza. En todo caso si es claro que no podemos construirlos perforando o rasgando la estructura del espacio desde el punto de vista de la relatividad general clásica.

Sin embargo, la teoría de cuerdas nos proporciona un nuevo enfoque acerca del espacio. Si reducimos en millones de veces el tamaño de una región del espacio, nos encontramos que la estructura espacial es caótica y aleatoria a estas escalas tan diminutas. Se piensa que quizás los agujeros y rasgaduras pudieran ser comunes. Es en estas situaciones cuando pensamos en las cuerdas. Una cuerda podría estirarse en forma de tubo y desplazarse por el espacio constituyendo una burbuja que rodee la rasgadura del espacio formando un escudo protector.

### **Explicación de la inmersión en dimensiones ocultas:**

La teoría de cuerdas nos plantea la posibilidad de que estemos inmersos en dimensiones ocultas. Aunque el defender la existencia de otras dimensiones parezca una locura, la teoría pronostica la existencia de estas dimensiones ocultas en un espacio mucho más amplio que el tridimensional de nuestra percepción.

Nuestro universo podría ser una parte de algo mucho más grande, y pudiera ser que nosotros vivamos en una membrana cuatridimensional que flota en una estructura espacial de más dimensiones. Podrían existir a nuestro lado otros universos, otras membranas, que serían para nosotros invisibles. Se trataría de universos paralelos.

### **La teoría M:**

Sin embargo, la teoría de cuerdas ha desembocado en un total de cinco teorías de cuerdas diferentes en sus desarrollos matemáticos. Todas ellas aspirando, como es obvio, a ser la teoría del todo.

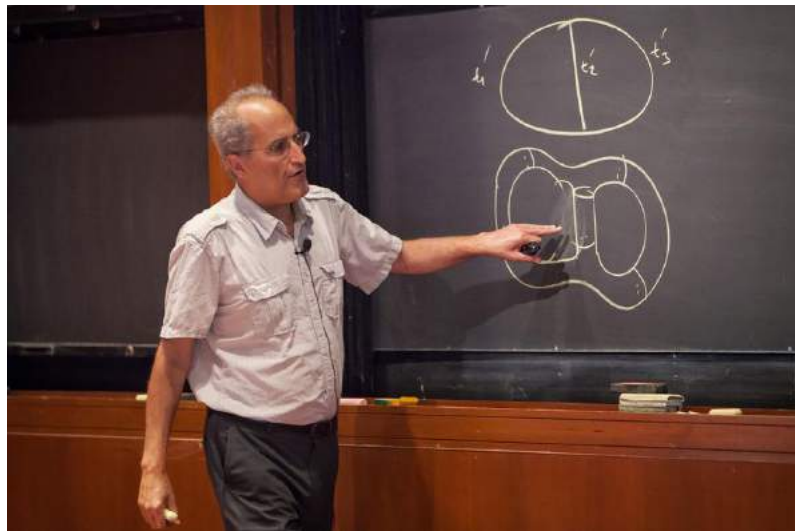
Aunque las cinco teorías compartían algunas características obvias, como la existencia de las cuerdas vibrantes, diferían esencialmente en su aparato matemático. ¿Cómo podríamos explicar que la teoría pudiera tener cinco variedades?

En 1995 se produjo un hecho crucial cuando en la Universidad del Sur de California se celebraba la conferencia anual de físicos especialistas en teoría de cuerdas. Fue la intervención de uno de los físicos matemáticos más extraordinarios de la actualidad, el Dr. Edward Witten. En una sobrecogedora y extraordinaria intervención dio a entender que se podían eliminar algunas de las cinco teorías de cuerdas. Elaboró una nueva forma de contemplar la teoría de cuerdas. Dijo que la había investigado y que había encontrado una solución para todas las cinco teorías y sus dimensiones, que mostraría a continuación. Con la intervención de Witten recibiría la teoría un gran empuje.

Aportó Witten una visión nueva de la teoría de cuerdas que sorprendió a los asistentes a la conferencia. Desde su punto de vista, no había cinco teorías de cuerdas diferentes, sino que se trataba de imágenes especulares de la misma teoría, o dicho de otro modo, cinco enfoques del mismo concepto. Esto unificaba la teoría.

El planteamiento de Witten recibió el nombre de Teoría M. Con ello se renovaron las esperanzas de que la teoría pudiera ser la explicación del todo. De todos modos, no todo en la teoría M resultaron ser ventajas. Antes de la teoría M se consideraban 10 dimensiones: tiempo, espacio de tres dimensiones y otras seis dimensiones ocultas. Con la teoría unificada se necesitarían 11 dimensiones.

Edward Witten es uno de los grandes matemáticos de nuestro tiempo. Su capacidad de interpretar las ideas físicas en forma matemática es verdaderamente única. Una y otra vez ha sorprendido a la comunidad matemática por su brillante aplicación de la visión física que lleva a nuevos y profundos teoremas matemáticos.



Crédito imagen: Instituto de Estudios Avanzados, Scientific American

### Universos paralelos:

La dimensión que Witten había añadido en la teoría M permitía que las cuerdas se estiraran en forma de membrana (brane), membrana que pudiera ser gigantesca. La teoría de cuerdas ya no aceptaba sólo la base de las cuerdas infinitesimales sino que consideraba objetos que podrían ser mucho mayores, las membranas, membranas que podrían tener cuatro dimensiones. Si contaran con suficiente energía podrían llegar a adquirir un tamaño gigantesco, tan grande como nuestro universo.

La existencia de membranas gigantes y de dimensiones paralelas ofrece la sorprendente posibilidad de que nuestro universo pudiera ser una membrana cuatridimensional alojada en un universo con más dimensiones. Nuestro universo

no solamente no sería especial, sino que, además, tendría numerosos vecinos (branes gigantes).

### **Explicación para la gravedad:**

Desde el siglo XVII, cuando Newton descubrió la gravedad, según se dice, al ver caer una manzana, lo cierto es que se han descubierto otras fuerzas de la naturaleza que superan en poderío a la fuerza gravitatoria.

Aunque las fuerzas de gravitación son las que hacen girar los planetas, las que nos tienen pegados al nuestro, las que explican los movimientos de asteroides, etc., las fuerzas electromagnéticas son mucho más poderosas y de otro tipo. Al comparar las fuerzas gravitatoria y electromagnética encontramos que esta última es  $10^{39}$  veces más poderosa que la gravitatoria. Esto ha originado durante décadas una gran confusión entre los investigadores, hasta que la teoría de cuerdas ha dado con una argumentación, con una hipótesis, para intentar explicar este hecho.

Todas las fuerzas de la naturaleza están, según la teoría, constituidas por cuerdas, cuerdas que pueden ser abiertas o pueden ser cerradas.

La teoría de cuerdas plantea la posibilidad de que la gravedad no sea tan débil comparada con otras fuerzas, sino que está constituida por cuerdas distintas que permiten su disipación fuera de la membrana que constituye nuestro universo. Veamos: las cuerdas que definen las fuerzas nucleares fuerte o débil, o las fuerzas electromagnéticas, son cuerdas abiertas ancladas en la membrana de nuestro universo, mientras que las fuerzas de gravitación son cuerdas cerradas, los gravitones, que están flotando en la membrana y que pueden abandonarla y pasar de una a otra membrana, de uno a otro universo. Pueden disiparse. Esto explica en nuestro universo su aparente debilidad en comparación con las restantes fuerzas.



**Las cuerdas o filamentos que definen la materia y las fuerzas no gravitatorias son filamentos abiertos anclados en la membrana de nuestro universo.**

**Crédito imagen: Monumento en la Plaza de Europa, de Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands**

Las cuerdas o filamentos cerrados son aquellas que definen los campos de gravitación y pueden pasar de una membrana a otra (de un universo a otro)

Crédito imagen: TEA, Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands

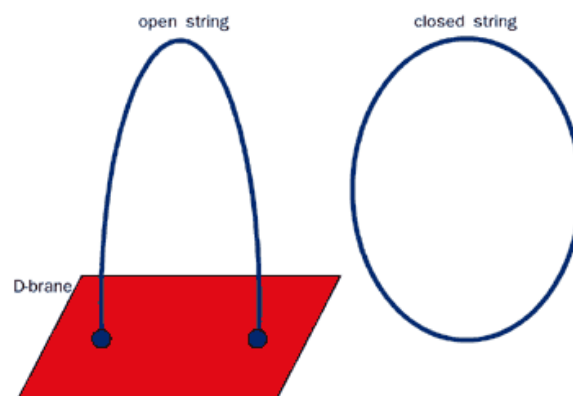


Una similitud, propuesta por el físico Brian Greene, podríamos imaginarla en una partida de billar, en donde todas las bolas del juego están confinadas en el tablero de la mesa y sus movimientos no les permiten salir de la misma. En cambio nosotros, desde fuera de la mesa, podemos escuchar el sonido que se origina debido a sus choques durante el juego. Las ondas sonoras producidas por esos choques sí que abandonan la mesa, esto es, abandonan la "membrana" que constituiría el billar.

Otra similitud, también propuesta por Greene, es la de una tostada, en donde la mantequilla o la mermelada no abandonan la rebanada de pan, mientras que si, simplemente, se vuelca azúcar sobre la rebanada, esta se desliza fácilmente abandonando la "membrana".

La idea que nos plantea la teoría es que la gravitación puede ser una fuerza que no está limitada a nuestra membrana, a nuestro universo, sino que puede salir del mismo e interactuar con universos paralelos.

La teoría M, por tanto, nos indica que todo lo que conocemos en la naturaleza, la materia y la luz, está constituido por cuerdas abiertas, cuerdas que tienen sus extremos anclados en nuestra membrana tetradimensional, mientras que la gravedad está formada por cuerdas cerradas que flotan sobre nuestra membrana, pudiendo abandonarla. No están "pegadas" a la membrana. Pueden abandonar nuestro universo hacia otras dimensiones, lo cual en nuestra membrana disminuye su acción, haciéndola parecer más débil que el resto de las fuerzas.



Las cuerdas abiertas, open string, están ancladas en nuestro universo (D-brane), mientras las cuerdas cerradas, closed string, "flotan", pudiendo salir a otros universos.

## Bibliografía

S. Weinberg, "Dreams of a Final Theory"

P.C.W. Davies y J. Brown, "Superstrings: a theory of everything"

B. Greene, "The elegant universe: superstrings, hidden dimensions and the quest for the ultimate theory"

M. Kaku, "Hyperspace: A scientific odyssey through parallel universe, time warps and the tenth dimension"

C. Núñez, ¿Qué es la Teoría M", <http://casanchi.com/fis/teoriam01.htm>

T. Kaluza, "On the problem of unity in physics," Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, vol. K1, p. 966, 1921.

O. Klein, "Quantum theory and five dimensional theory of relativity," Z. Phys., vol. 37, p. 895, 1926.