

Teoría de cuerdas y Teoría M

Por Rod,

8 de Octubre del 2015 en [Ciencias de la Astronomía](#)

<https://www.espacioprofundo.com/topic/24379-teor%C3%ADa-de-cuerdas-y-teor%C3%ADa-m/>

Abro este topic para que discutamos sobre la teoría de cuerdas y la Teoría M. Les pongo una explicación básica y conceptual de lo que he aprendido hasta ahora. Es un texto largo, pero espero que no se aburran y sea comprensible. Si hay algún experto por acá que nos ayude a profundizar y quizás corregir ciertas cosas, sería maravilloso. Intenté hacer la explicación o más didáctica posible para hacerla menos densa, espero haberlo logrado. Les recuerdo que estos textos los estoy recopilando en mi blog. (Link en la firma).

Teoría de Cuerdas y Teoría M

Para comenzar, es necesario aclarar un punto. Cuando se habla de Teoría de cuerdas, no se habla de una teoría en particular, sino de un marco teórico. Antes de profundizar en la teoría, su historia y su desarrollo, es necesario definir los elementos más importantes de este marco teórico.

¿En qué consiste la Teoría de cuerdas?

La teoría de cuerdas es una teoría del todo, es decir que pretende explicar el universo desde sus elementos más elementales, hasta la estructura del universo a gran escala, definiendo su origen, su desarrollo y su futuro.

El elemento central de la teoría de cuerdas es que postula que la unidad básica de materia en el universo son pequeñas cuerdas o filamentos de energía, unidimensionales y extendidos, los cuales vibran como una banda elástica. Dependiendo de la forma en que vibren, dan origen a las partículas elementales que componen el átomo y todo el universo. Explicado de otra forma, la teoría de cuerdas va más allá del Modelo Standard, y establece que a mucha menor escala, todas las partículas están formadas por estas pequeñas cuerdas vibrantes de energía.

Para darle las propiedades conocidas a los distintos tipos de partículas (masa, carga y spin), estas cuerdas vibrarían en distintas dimensiones, diferentes a las 3 dimensiones que conocemos, las cuales estarían "Enrolladas" en una escala similar a la de Planck. La escala de Planck es la unidad mínima de espacio, tiempo y energía, es decir, lo más pequeño que puede existir. Estas dimensiones estarían enrolladas o "compactificadas" en una forma geométrico-matemática conocida como "Variedad de Calabi-Yau".

Según la teoría de cuerdas, en nuestro universo existen más dimensiones que las 4 que podemos percibir (3 espaciales y 1 temporal). Dependiendo del modelo de teoría, existirían entre 6 y 26 dimensiones, algunas compactificadas y otras dimensiones superiores en las cuales estaría contenido nuestro universo.

Estas cuerdas o filamentos de energía, dependiendo del modelo de teoría, vendrían en 2 tipos. Cuerdas abiertas y cuerdas cerradas. Las cuerdas abiertas son las que darían origen a las partículas y la materia, y las cuerdas cerradas, a la gravedad.

Además de las cuerdas, otro elemento central de esta teoría son las llamadas "**Branas**". El término brana viene de "membrana". Estas branas son elementos físicos, nacidos de las

cuerdas (una cuerda llevada a gran escala, se podría caracterizar como una membrana) en los cuales estaría contenido nuestro universo 3D y darían forma a las dimensiones "superiores".

Existirían varios tipos de branas, nombradas dependiendo de la dimensionalidad y tamaño. Las P- Branas corresponderían a cuerdas de 2 dimensiones. A partir de esto, se puede caracterizar a las branas según su número dimensional. Es así como un objeto puntual como una 0- Brana, una cuerda podría caracterizarse como una 1- Brana, un objeto tridimensional como una 3- Brana y así sucesivamente.

Las cuerdas abiertas serían las que dan origen a las partículas que a su vez, componen la materia. Estas cuerdas están asociadas a un tipo particular de P-Brana llamado D-Brana. Las D-Branas pueden ser definidas como "Branas de dimensión". Las cuerdas abiertas están "pegadas" o unidas por sus extremos a la D-Brana y no pueden existir ni salir fuera de ella. El universo en que nos encontramos puede ser definido como una D-Brana de 3 dimensiones. Las cuerdas cerradas serían las que componen la partícula hipotética que daría origen a la gravedad; el gravitón. El gravitón, al ser producto de cuerdas cerradas, podría moverse entre D-Branas sin quedarse anclado a ellas. Esto explicaría la debilidad de la gravedad en pequeña escala, en comparación con las otras fuerzas fundamentales.

Así como las cuerdas son los elementos centrales de la teoría a escala fundamental, las branas son los elementos que caracterizarían al universo en escala cosmológica.

Historia y Contexto:

La Teoría de cuerdas nace en los 60's como una teoría que buscaba explicar la interacción fuerte en el núcleo atómico. Esta teoría consideraba a todas las partículas como **bosones** (partículas transmisoras de energía) y solo funcionaba en un espacio-tiempo de 26 dimensiones. A esta teoría original se le conoce como "Teoría de cuerdas bosónicas".

El concepto de cuerdas no fue desarrollada otra vez hasta 1974, cuando Jöel Scherk y John Henry Schwarz postularon que la gravedad podía ser bien descrita si la teoría estaba basada en objetos unidimensionales como las cuerdas, en lugar de partículas puntuales. Para su trabajo, se basaron en las teorías de Kaluza-Klein, quien buscaron unificar la gravitación y el electromagnetismo, a través de un espacio-tiempo de 5 dimensiones.

Estos trabajos originales en teoría de cuerdas no tuvieron mayor trascendencia hasta 1984, donde se produjo lo que se conoce como "**Primera revolución de supercuerdas**". Esta revolución fue un periodo en el que muchos físicos dieron pasos fundamentales en el desarrollo de la teoría y caracterizaron los primeros modelos que sirvieron de base para las teorías actuales. En este periodo se introdujo la llamada "**Supersimetría***", lo que llevo a la teoría a ser conocida como "**Teoría de supercuerdas**". Estos primeros 5 modelos desarrollados en este periodo son:

Teoría de cuerdas de Tipo I: Se caracteriza por tener cuerdas abiertas y cerradas, propagándose en un espacio-tiempo de 10 dimensiones (9 de espacio, 1 temporal). Introduce la supersimetría de tipo N=1 como solución a las anomalías de las versiones anteriores de la teoría.

Teoría de cuerdas Tipo IIA: Presenta solo cuerdas cerradas, 10 dimensiones y Supersimetría tipo N=2. Si se incluyen Branas, también presenta cuerdas abiertas. Tiene **fermiones** sin masa que giran en 2 sentidos.

Teoría de cuerdas Tipo IIB: Es idéntica a la teoría de tipo IIA, salvo que presenta "quiralidad", es decir, sus fermiones levógiros como dextrógiros presentan helicidad izquierda o helicidad derecha. *

Teoría de cuerdas Heterótica SO(32): Esta teoría es una mezcla entre una teoría de cuerdas **bosónica** y una teoría de **supercuerdas tipo I**. En esta teoría las cuerdas con movimiento levógiro se pueden propagar en 26 dimensiones ($D=26$), como una teoría de cuerdas bosónica, y las con movimiento destrógiro en $D=10$. Mediante el procedimiento matemático de rotaciones y simetrías SO (32), las 16 dimensiones diferenciales se pueden ajustar para que se propaguen en $D=10$.

Teoría de cuerdas Heterótica E8xE8: Esta teoría es idéntica a la Heterótica SO(32), salvo que el procedimiento para ajustar las dimensiones restantes se basa en el procedimiento de traslaciones, rotaciones y simetrías conocido como E8xE8.

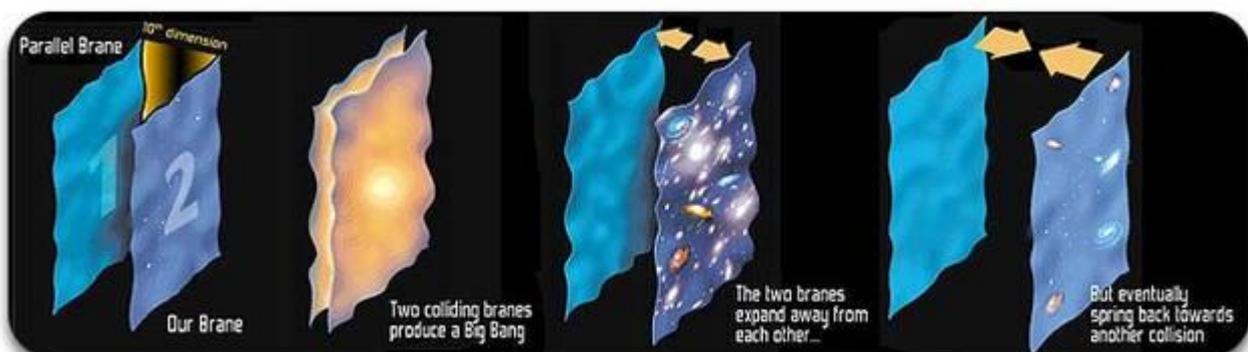
Esta primera revolución de las supercuerdas hizo que la teoría fuera vista con más atención por el mundo académico e hizo que muchos físicos empezaran a estudiarla y profundizar en ella.

Durante principios de los 90's, se hizo evidente que estas distintas teorías presentaban muchas similitudes y dualidades entre ellas, por lo que el foco del desarrollo se centró en esto. Todo este trabajo dio frutos cuando en 1995, en el congreso de teoría de cuerdas "Strings 95", el físico estadounidense **Edward Witten**, basándose en las distintas dualidades que presentaban cada una de las teorías, presentó la idea que estas 5 teorías de cuerdas no eran distintas entre sí, sino que eran diferentes versiones equivalentes de una misma teoría, la que denominó "Teoría M".

Witten se dio cuenta que las diferentes dualidades y semejanzas entre las teorías no eran casualidad, sino que se producían porque todas describían lo mismos fenómenos, desde un distinto punto de vista. También, la Teoría M podría explicar la gravedad desde un punto de vista cuántico. De todas formas, **Witten** aclara que su teoría M está incompleta, es solamente el primer indicio de una teoría más grande, la cual requiere el desarrollo de nuevas matemáticas para poder completarse. Esta presentación, considerada histórica, dio origen a la llamada "**Segunda revolución de las supercuerdas**".

Teoría M

La teoría **M de Witten** describe el universo con 11 dimensiones; Las 3 dimensiones espaciales que conocemos, 1 dimensión de tiempo y 6 dimensiones compactadas en un espacio de Calabi-Yau. La **teoría M** también postula la existencia de las **branas**. El universo en que nos encontramos, estaría en una brana de 3 Dimensiones, la cual se encontraría entre otras branas, una al lado de la otra. Toda la materia, hecha de cuerdas abiertas, estaría confinada en nuestra propio universo-brana. Las branas estarían una al lado de otra, dentro de una hiperdimensión o bulk. Las **branas** no estarían fijas, sino que **ondularían** y se **moverían**. Cuando 2 branas se tocan, se produciría un Big Bang y se formaría otro universo-brana, expandiéndose en direcciones opuestas. Eventualmente, las branas se podrían volver a tocar y el ciclo comenzaría otra vez.



Otra característica fundamental de la **teoría M** es que explica la **gravedad** desde el punto de vista **cuántico** a través de la llamada "**supergravedad**". En la teoría M, los **gravitones**, las partículas hipotéticas que serían las portadoras de la fuerza de gravedad, emergen de manera espontánea a través de la supersimetría. No hay teoría M sin gravitones. Según el propio Witten, cuando desarrollaba su teoría, no buscaba explicar los gravitones a través de ella, sino que estos surgieron de manera natural a medida que desarrollaba los cálculos.

Todas estas ideas de la **teoría M** tienen profundas consecuencias en la forma en que entendemos la realidad. El Big Bang no sería lo el origen de "todo", sino que simplemente marcaría el punto donde nació y se expandió nuestro propio universo, el cual sería simplemente un universo burbuja más en un océano o bulk infinito, lleno de infinitos universos-brana.

La **teoría M** es, hasta ahora, la única teoría que podría ser considerada una "Teoría del todo". Esto es porque explicaría la realidad desde la escala de Planck, a través de las cuerdas y las dimensiones enrolladas, pasando por la gravedad, hasta las branas y los multiversos. Pero esta fortaleza, es a su vez, su mayor debilidad. Por las escalas de tamaño en las que funciona, la Teoría M no es falsable, es decir, no se puede experimentar con ella. No tenemos el desarrollo tecnológico para experimentar a la escala de Planck, y probablemente nunca lo tengamos, y mucho menos podemos experimentar ni observar las branas, que serían patentes a escalas universales, las cuales siempre estarán fuera de nuestro alcance.

La única esperanza para poder comprobar la teoría M sería desarrollarla lo suficiente como para poder hacer predicciones con las que se pueda experimentar, pero hasta ahora esto no es posible. Esto se debe especialmente al problema de la variedad de Calabi-Yau¹. Para poder hacer predicciones concretas y exactas, es necesario conocer la forma exacta que tendrían las dimensiones enrolladas en las que vibran las cuerdas. Recordemos que una variedad de Calabi-Yau es una forma geométrica multidimensional, dentro de la cual se encontrarían enrolladas las dimensiones en las que vibrarían las cuerdas. Entre las miles de formas que puede tener una variedad Calabi-Yau, hay algunas que presentan "Agujeros" en los cuales se enrollarían las cuerdas para vibrar. Cada uno de estos agujeros representa un tipo de vibración que correspondería a un tipo de partícula. El problema radica en que las decenas de miles formas de Calabi-Yau que se conocen, estas pueden tener entre 2 a 480 agujeros. Entonces, se hace necesario encontrar una variedad de Calabi-Yau en particular que tenga la cantidad de agujeros exacta, y la forma exacta, para que las cuerdas que vibren dentro en ese espacio puedan dar valores y características que se correspondan con todas y cada una de las partículas que conocemos. Encontrar la variedad exacta es una tarea titánica, por no decir inalcanzable para las matemáticas actuales, sobre todo considerando que aún ni siquiera conocemos todas las partículas que podrían existir ni se conocen todas las posibles variedades de Calabi-Yau. El mismo Edward Witten afirmó que es necesario desarrollar un nuevo tipo de matemáticas para resolver este problema y poder desarrollar una teoría M completa.

A pesar del tremendo potencial de **la teoría M**, esta tiene muchos detractores. La principal crítica que se les hace es que al no poder experimentar con ella, no es falsable, por lo tanto, no puede ser sometida al método científico para comprobar su veracidad. Debido a esto, algunos críticos la califican de pseudociencia. Argumentan que por más perfecta que sea la teoría en los números y el papel, si no puede ser demostrada, no puede ser

¹ Variedad Calabi-Yau. https://es.wikipedia.org/wiki/Variedad_de_Calabi-Yau

