

TEORÍA DEL TODO

La **teoría del todo** (o **ToE** por sus siglas en inglés, *Theory of Everything*) es una teoría hipotética de la Física teórica que explica y conecta en una sola todos los fenómenos físicos conocidos. Inicialmente, el término se usó con una connotación irónica, para referirse a varias teorías sobregeneralizadas. Después se popularizó en la física cuántica al describir una teoría que podría unificar o explicar a través de un modelo simple de teorías todas las interacciones fundamentales de la naturaleza. Otros términos, no del todo sinónimos, empleados para referirse al mismo concepto son **teoría unificada**, **gran teoría unificada**, **teoría de campos unificada** y **teoría del campo unificado**.

Se podría concebir un intelecto que en cualquier momento dado conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza y las posiciones de los seres que la componen; si este intelecto fuera lo suficientemente vasto como para someter los datos a análisis, podría condensar en una simple fórmula el movimiento de los grandes cuerpos del universo y del átomo más ligero; para tal intelecto nada podría ser incierto y el futuro así como el pasado estarían frente a sus ojos.¹

Pierre-Simon Laplace

El concepto de una "teoría del todo" está arraigado en el principio de causalidad y su descubrimiento es la empresa de acercarnos a ver a través de los ojos del demonio de Laplace. Aunque dicha posibilidad puede considerarse como determinista, en una "simple fórmula" puede todavía sobrevivir la física fundamentalmente probabilista, como proponen algunas posturas actuales de la mecánica cuántica. Esto se debe a que aun si los mecanismos que gobiernan las partículas son intrínsecamente azarosos, podemos conocer las reglas que gobiernan dicho azar y calcular las probabilidades de ocurrencia para cada evento posible. Sin embargo, otras interpretaciones de la ecuación de Schrödinger conceden poca importancia al azar: este solo se tendría importancia dentro del átomo y se diluiría en el mundo macroscópico. Otras no obstante la niegan completamente y la consideran una interpretación equivocada de las leyes cuánticas. En consecuencia, la mayor dificultad de descubrir una teoría unificada ha sido armonizar correctamente leyes que gobiernan solo un reducido ámbito de la naturaleza y transformarlas en una única teoría que la explique en su totalidad, tanto en su mundo micro como macroscópico y explique la existencia de todas las interacciones fundamentales: las fuerzas gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

En el siglo pasado, hubo numerosas teorías del todo propuestas por físicos teóricos. Hasta ahora, ninguna ha sido capaz de superar una prueba experimental, han tenido tremendas dificultades para que sus teorías tengan resultados experimentales estables. El primer problema en producir una teoría del todo es que las teorías aceptadas, como la mecánica cuántica y la relatividad general, son radicalmente diferentes en las descripciones del universo: las formas sencillas de combinarlas conducen rápidamente a la "renormalización" del problema, en donde la teoría no nos da resultados finitos para datos cuantitativos experimentales.

Desde los tiempos de los antiguos griegos, los filósofos han especulado que la aparente diversidad de apariencias oculta una subyacente unidad, y por lo tanto que la lista de las fuerzas puede ser acortada, de hecho que puede tener una sola entrada. Por ejemplo, la filosofía mecánica del siglo XVII propuso que todas las fuerzas podrían en últimas reducirse a una fuerza de contacto entre pequeñas partículas sólidas.² Esto se abandonó después de la aceptación de las fuerzas gravitacionales a larga distancia propuestas por Isaac Newton; pero al mismo tiempo el trabajo de Newton en su *Principia* proveyeron la primera dramática evidencia empírica de la unificación de fuerzas que en ese momento parecían diferentes: el trabajo de Galileo en la gravitación terrestre, las leyes de Kepler del movimiento planetario y los fenómenos de mareas fueron todas cuantitativamente explicadas por una simple ley, llamada de la gravitación universal.

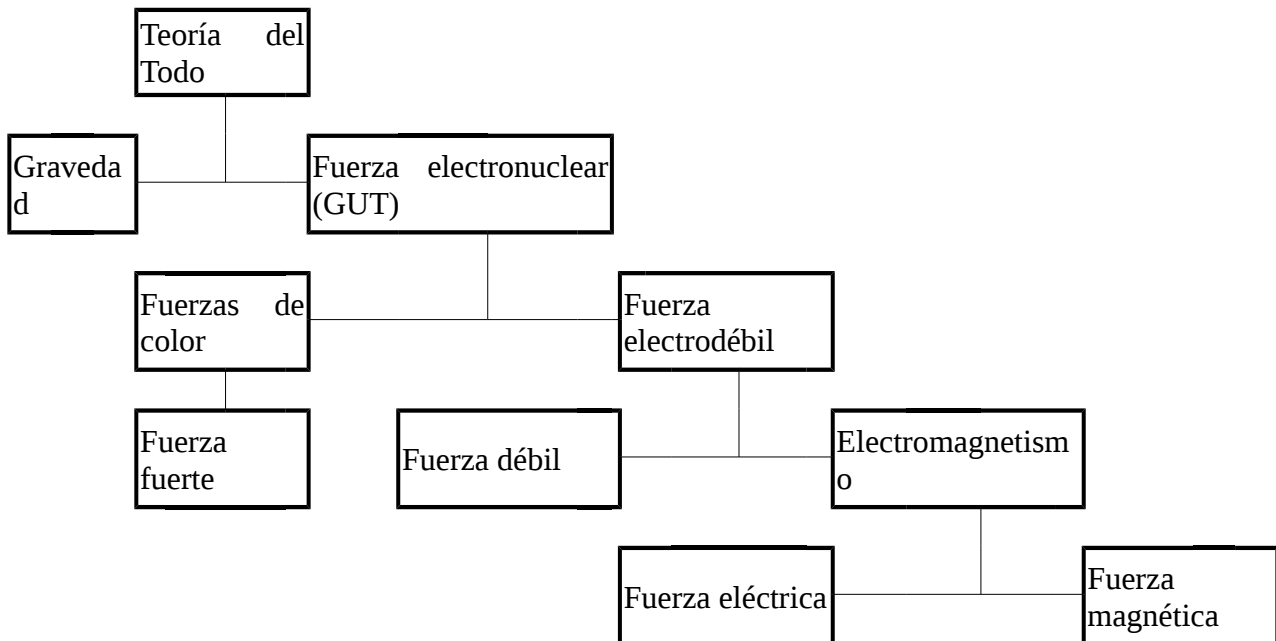
En 1820, Hans Christian Oersted descubrió una conexión entre la electricidad y el magnetismo; muchas décadas de trabajo culminaron en la teoría del electromagnetismo de James Clerk Maxwell. También durante los siglos XIX y XX, gradualmente fueron apareciendo muchos ejemplos de fuerzas de contacto, elasticidad, viscosidad, fricción, presión- resultados de las interacciones eléctricas entre pequeñísimas partículas de la materia. A finales de 1920, la nueva mecánica cuántica mostró que los enlaces químicos entre átomos eran ejemplos de fuerzas eléctricas (cuánticas), corroborando la jactancia de Dirac que «las leyes físicas subyacentes necesarias para una teoría matemática para una gran parte de la física y toda la química [ya] son completamente conocidas».³ Se trataba, pues, de asociar dichas fuerzas fundamentales en un solo modelo totalizador que explicara de forma efectiva interacciones complejas de fuerzas aparentemente diversas y no correlacionadas.

Los intentos de unificar gravedad con magnetismo se remontan a los experimentos de 1849-50 de Michael Faraday.⁴ Después de la teoría gravitatoria (relatividad general) de Einstein publicada en 1915, la búsqueda de una teoría del campo unificado que combine gravedad con electromagnetismo se tornó más seria. Al mismo tiempo, se hizo plausible el decir que no existían más fuerzas fundamentales. Prominentes contribuciones fueron las otorgadas por Gunnar Nordstrom, Hermann Weyl, Arthur Eddington, Theodor Kaluza, Oskar Klein, y la más notable dada por Einstein y sus colaboradores. Ninguna de estas propuestas tuvo éxito.⁵

La búsqueda fue interrumpida por el descubrimiento de las fuerzas débil y fuerte, que no podían ser agregadas dentro de la gravedad o el electromagnetismo. Otro obstáculo fue la aceptación que la mecánica cuántica tuvo que ser incorporada desde el inicio, no emergió como una consecuencia de la determinista teoría unificada, como Einstein esperaba. Gravedad y Electromagnetismo pueden siempre coexistir pacíficamente como tipos de fuerzas de Newton, pero por muchos años se ha observado que la gravedad no puede ser incorporada en el panorama cuántico, dejándola sola al unificarse con otras fuerzas fundamentales. Por esta razón este trabajo de unificación en el siglo XX se focalizó en entender las tres fuerzas "cuánticas": electromagnetismo y las fuerzas nucleares débiles y fuertes. Las dos primeras fueron unificadas en 1967-8 por Sheldon Glashow, Steven Weinberg, y Abdus Salam.⁶ Las fuerzas fuerte y la electrodébil coexisten en el modelo estándar de partículas, pero se mantienen distintas. Muchas teorías unificadas (o GUT por sus siglas en inglés) han sido propuestas para unificarlas. Aunque la simpleza de las GUTs han sido descartadas en la

experiencia, la idea general, especialmente cuando se vincula con las supersimetrías, continúa firmemente a favor de la comunidad teórica de física.

En la corriente principal de la física actual, la Teoría del Todo podría unificar todas las interacciones fundamentales de la naturaleza, que son consideradas como cuatro: gravitación, la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil y la electromagnética. Dado que la fuerza fuerte puede transformar partículas elementales de una clase a otra, la teoría del todo debería producir una comprensión profunda de varios tipos diferentes de partículas, así como de diferentes fuerzas. El patrón previsible de las teorías es el siguiente:



Adicionalmente a las fuerzas listadas aquí, la moderna cosmología requiere una fuerza inflacionaria, energía oscura, y también materia oscura compuesta de partículas fundamentales fuera de la escena del modelo estándar.

La unificación electrodébil es una simetría rota: el electromagnetismo y la fuerza débil parecen distinguirse a bajas energías porque las partículas traen fuerzas débiles, los bosones W y Z tienen la masa de alrededor de $100 \text{ GeV}/c^2$, mientras que el fotón, que trae la fuerza electromagnética, no tiene masa. A altas energías los bosones W y Z pueden crear masa fácilmente y la naturaleza unificada de las fuerzas aparece. La teoría de la gran unificación se espera que opere de manera similar, pero las energías en el orden de 10^{16} GeV o mucho mayores no pueden ser conseguidas por ningún acelerador de partículas en La Tierra. Por analogía, la unificación de las fuerzas GUT con la gravedad se espera que sea a una energía de Planck, alrededor de 10^{19} GeV .

Podría ser prematuro el estar buscando la teoría del todo cuando no existe evidencia directa de una fuerza electonuclear y mientras en cualquier caso hay muchas diferentes propuestas de GUTs. En efecto el nombre deliberado está envuelto en Hibris. No obstante, muchos físicos creen que la unificación es posible, debido en parte a la historia de convergencia hacia una misma teoría. La supersimetría se ve plausible no solo por su "belleza" teórica, sino por su naturalidad al producir grandes cantidades de materia oscura, y la fuerza inflacionaria puede ser relacionada a GUT físicas

(aunque no parece formar parte inevitable de la teoría). Y ahora las GUTs no son claramente la respuesta final. Tanto el modelo estándar actual como la propuesta GUT son teorías cuánticas de campos que requieren la problemática técnica de la renormalización de respuestas a campos sensibles. Es usual considerar como un signo de que hay una sola teoría de campos efectiva omitiendo fenómenos cruciales sólo a muy altas energías. Además, la inconsistencia entre la mecánica cuántica y la relatividad general implica que una de las dos debe ser remplazada por una teoría que incorpore la gravedad cuántica.

La única candidata principal a teoría del todo en el momento es la teoría de supercuerdas. Investigaciones en curso sobre la gravedad cuántica de bucles puede eventualmente jugar un rol fundamental en la teoría del todo, pero éste no es el principal objetivo. Estas teorías intentan tratar con la renormalización del problema mediante el establecimiento de algunas en el límite inferior de escalas de longitud posible. La teoría de supercuerdas y la supergravedad (se cree que ambas son casos especiales de una teoría sin definir M) suponen que el universo tiene en realidad más dimensiones que lo que puede verse a simple vista: tres espaciales y una temporal. La motivación tras este acercamiento comienza con la teoría Kaluza-Klein en donde se notó que al aplicar la relatividad general en un universo de 5 dimensiones (una dimensión más una pequeña dimensión de doblado) mantenía la equivalente a la relatividad general, de 4 dimensiones, con las leyes de Maxwell del electromagnetismo (también en 4 dimensiones). Esto ha dado lugar a esfuerzos para trabajar con teorías de muchas dimensiones en las que se espera que se puedan producir ecuaciones que sean similares a las conocidas en física. La noción de extradimensiones también ayuda a resolver el problema de la jerarquía, donde la pregunta de por qué la gravedad es más débil que cualquier otra fuerza. La respuesta común dice que la gravedad estaría en una dimensión extra a las otras fuerzas.

A finales de 1990 se notó que uno de los problemas de tener muchas candidatas a teorías del todo (pero particularmente con la teoría de cuerdas) era que éstas no contenían las características de predecir el universo. Por ejemplo, muchas teorías de la gravedad cuántica pueden crear universos con un número arbitrario de dimensiones o con arbitrarias constantes cosmológicas. Incluso la "estándar" teoría de cuerdas 10-dimensional permite a las dimensiones "espiraladas" ser compactadas en muchos diferentes caminos (uno estimado es 10^{500} donde cada una corresponde a colecciones diferentes de partículas fundamentales y fuerzas de baja energía).

Una solución especulativa es que muchas de esas posibilidades son realizables en uno u otro de los universos posibles, pero solo un número pequeño de ellos son habitables, y por lo tanto las constantes universales fundamentales son en definitiva el resultado de un principio antrópico como consecuencia de una teoría del todo. Esta aproximación antrópica es claramente criticada en que, como la teoría es lo suficientemente flexible para abarcar casi cualquier observación, no podría hacer predicciones útiles (como originales, falsas o verificables). Desde este punto de vista, la teoría de cuerdas podría ser considerada como pseudociencia, donde una teoría infalsable es constantemente adaptada para que los resultados experimentales se ajusten a ella.

Existen varios fenómenos que una teoría del todo debería poder aclarar:

- **Parámetros contingentes.** Aunque las teorías cuánticas de las interacciones electrodébil y fuerte, dan descripciones fenomenológicamente correctas y hacen predicciones valiosas, contienen una serie de parámetros numéricos para cuyo valor la propia teoría da más explicación y deben determinarse mediante experimento (aunque realmente una teoría más amplia podría mostrar que su valor no es arbitrario). Se supone que una teoría del todo podría explicar esos parámetros y predecir su valor a partir de parámetros o relaciones más fundamentales.
- **Las taras de la relatividad general.** Una teoría del todo debería explicar fenómenos tales como el Big Bang o la naturaleza de las singularidades espaciotemporales que las teorías de la relatividad general y la mecánica cuántica no explican.
- **Satisfactoriedad filosófica.** Las motivaciones teóricas y filosóficas para encontrar una teoría del todo incluyen la creencia platónica de que la naturaleza última del Universo es simple y que los modelos corrientes de Universo tales como el modelo estándar no pueden ser completados debido a que son demasiado complejos.

Recientemente han surgido dos teorías que podrían algún día evolucionar hasta la mencionada teoría unificada. Una es la Teoría M, una variante de la teoría de cuerdas basada en un espacio de 11 dimensiones. La segunda es la denominada teoría cuántica de bucles que postula que el propio espacio-tiempo estaría cuantizado dimensionalmente, algo que por ahora no ha sido demostrado.

Ninguna teoría física al momento se cree que sea precisamente exacta. En lugar de ello, la física ha procedido por series de "aproximaciones sucesivas" permitiendo predicciones cada vez más exactas sobre una amplia gama de fenómenos. Muchos físicos creen que existen muchos errores en los confusos modelos teóricos con la naturaleza real de la realidad y sostienen que la serie de aproximaciones nunca terminará en "verdad". El mismo Einstein expresó su visión en ocasiones.⁹ Desde su punto de vista, podemos razonablemente esperar por "una" teoría del todo donde consistente -en sí misma- incorpore todas las fuerzas conocidas actualmente, pero no debemos esperar en tener la respuesta final. En cambio, estaba abierto a opinar que a pesar de la aparente complejidad matemática en cada teoría, en un sentido profundo asociado con su subyacente simetría gauge y al número de constantes físicas universales, las teorías se simplificarán. Si eso ocurre, el proceso de simplificación no puede continuar indefinidamente.

Hay un debate filosófico dentro de la comunidad física de la existencia o no de la teoría del todo y si debe ser llamada "la" ley fundamental del universo.¹⁰ Una opción es la posición reduccionista dura de que la teoría del todo es la ley fundamental y que todas las otras teorías que aplican en el universo son una consecuencia de la ley del todo. Otra visión es que las leyes emergentes (llamadas "leyes libres flotantes" por Steven Weinberg) donde gobierna un comportamiento de sistemas complejos deberían ser igualmente fundamentales. Ejemplos son la segunda ley de la termodinámica y la teoría de la selección natural. En punto comienza en que a través de nuestro universo esas leyes describen sistemas cuyo comportamiento puede ("en principio") ser predicho por una ToE, que también se realizarán en un universo con diferentes leyes de bajo nivel, sujeto sólo a algunas condiciones muy especiales. Por lo tanto no es de ayuda, ni siquiera en principio, invocar un nivel bajo de leyes para discutir el comportamiento de los sistemas complejos.