

# TEORÍA DE CUERDAS:

DE LONGITUDES FUNDAMENTALES AL UNIVERSO

OBSERVABLE

LIC. FÉLIX IBARRA-CASTOR

**L**a teoría de cuerdas propone un cambio radical en la forma en que modelamos las interacciones fundamentales de las partículas, y recientemente se ha intentado relacionar este marco teórico con cuestionamientos a nivel cosmológico.

En este artículo exploramos cómo la teoría de cuerdas propone enlazar áreas de la física que parecen distantes entre sí, unificando las escalas de longitud más pequeñas y más grandes del universo.



La historia de la investigación en física ha pasado por distintos procesos socioeconómicos y culturales que han liderado la ruta que siguen los nuevos descubrimientos.

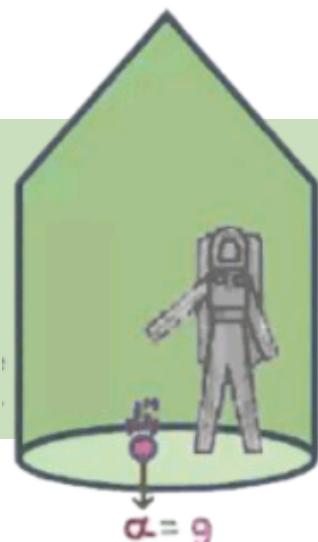
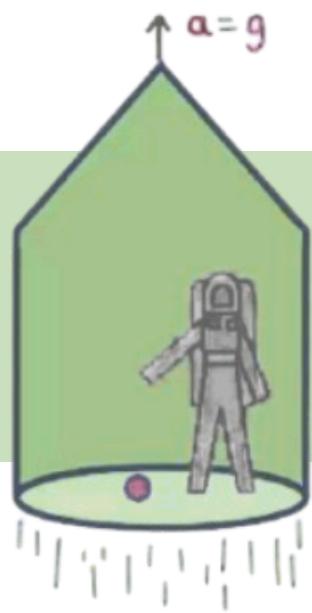
Hasta antes del siglo XX parecía bastante claro que distintos catalizadores relacionados con la fe, la economía, las artes y la política, intervienen en la investigación del mundo y dictan las tendencias de preguntas fundamentales que, en efecto, no han dejado de modular ciertos aspectos de la ciencia en sí.

A partir del descubrimiento de la **mecánica cuántica** y la **relatividad**, la infraestructura de aparatos de investigación y la capacidad de producción de las naciones para financiar estos proyectos quedaron como uno de los principales arquitectos de las preguntas que nos hacemos los físicos para intentar modelar el mundo y sus fenómenos.



$$\uparrow a = g$$

fig 1. Ilustración de mecánica newtoniana y relativista



Fuente de imagen: Comparación entre la Mecánica Newtoniana y Relativista. (s. f.). Educatina. <https://www.educatina.com/video?categoria=ciencias&subcategoria=fisica&rama=fisica-moderna&tema=relatividad&nombre=comparacion-entre-la-mecanica-newtoniana-y-relativista>

Tanto ha sido el impacto de esta tendencia, que la discusión principal en laboratorios y centros de investigación de todo el mundo se articula en torno a categorías definidas por la escala, por ejemplo, a gran escala el comportamiento de los diversos objetos cosmológicos, e incluso la evolución del universo mismo; a menor escala, la interacción de las partículas elementales y su relación con las fuerzas fundamentales de la naturaleza; y, en unos cuantos lugares, en cómo se relacionan ambas líneas de investigación.



Durante la germinación de estos marcos teóricos surgió, de manera inesperada, la idea de que tal vez, el comportamiento de las partículas elementales podía ser modelado a partir de objetos de una sola dimensión puestos en vibración, dando lugar a la teoría de cuerdas.

No solo estos prospectos fueron concebidos por los físicos del siglo XX al enfrentarse con esta idea ,

## TAN RADICAL

sino que la propia teoría necesitaba la presencia de la **gravedad** para dar un marco unificado de las interacciones fundamentales.

La teoría de cuerdas hasta ahora se encuentra en una muy temprana etapa de desarrollo, y puesto que una verificación experimental de la teoría requiere de predicciones precisas, es difícil conseguirlas en un marco teórico aún en exploración y expansión. Como se mencionó anteriormente, la propuesta de la teoría de cuerdas es que las partículas fundamentales de nuestro universo pueden asociarse a modos de vibración de este objeto unidimensional, una sola cuerda fundamental.

La longitud típica de una cuerda fundamental no se encuentra en el rango de los átomos ni de sus núcleos, sino muchísimo más abajo, cerca de la longitud de Planck, aproximadamente

$$10^{-35} m$$



Estas escalas son tan diminutas que están fuera del alcance de nuestra tecnología experimental existente, la cual, actualmente nos ha permitido explorar hasta el orden de

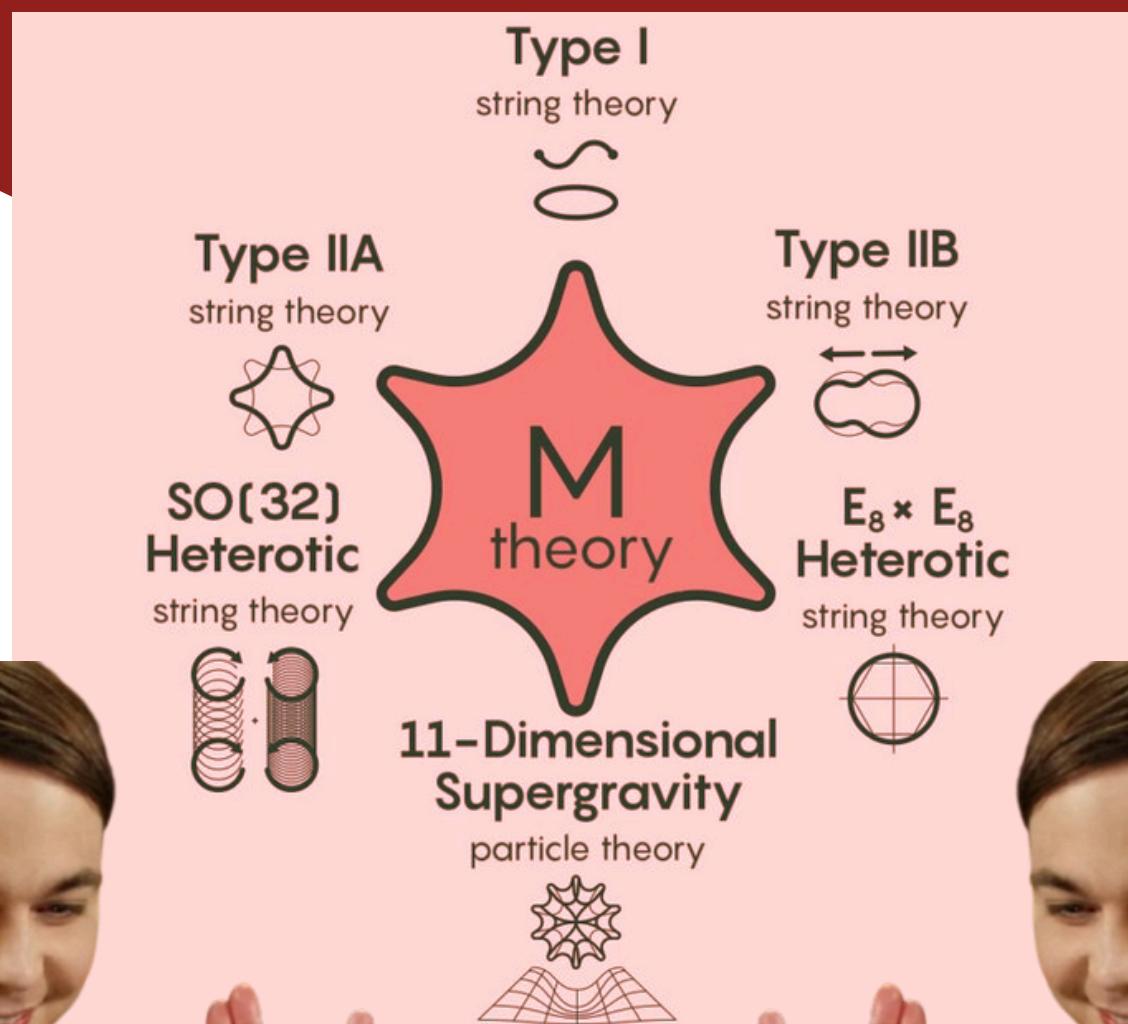
$$10^{-19} m$$

gracias al Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés).

Naturalmente, un proceso de cuantización de la teoría clásica de propagación de una cuerda en el espacio-tiempo es requerido, y es aquí donde surgen los inconvenientes.

Si bien la teoría es capaz de considerar el espectro de partículas elementales, incluso al hipotético gravitón, bosón encargado de mediar las interacciones gravitacionales, como ya se mencionó, para que exista consistencia matemática surge un requerimiento inesperado: el espacio-tiempo debe ser de 10 dimensiones, una para la dimensión temporal y las 9 restantes para las dimensiones espaciales.

Así, el universo dejaría de ser un espacio de 4 dimensiones y se convertiría en un entramado de 10 dimensiones (o incluso 11, según la llamada teoría M).



Pero si esas 6 dimensiones adicionales existen, ¿dónde están? La respuesta más aceptada es que estarían “enrolladas” en espacios minúsculos, invisibles a simple vista, pero influyentes en las propiedades del espacio 4 dimensional que podemos observar. Así como la longitud de Planck, nos permite dar una primera estimación del tamaño de esta cuerda fundamental, también establece una escala de estas dimensiones compactas .

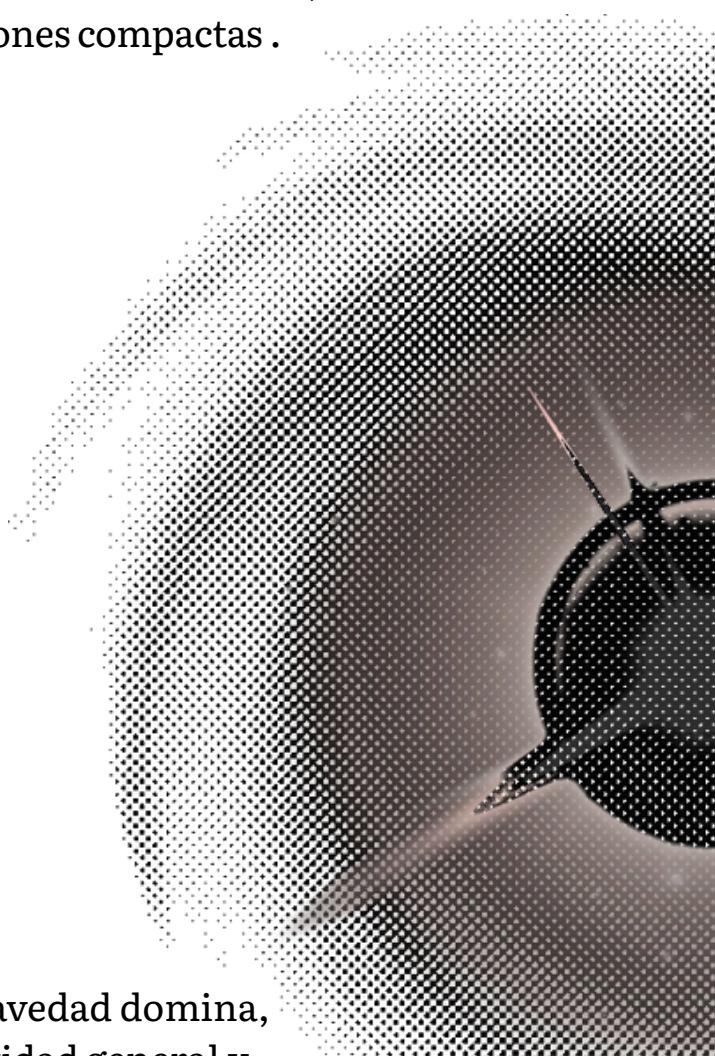
Más allá del mundo de las partículas elementales, la teoría de cuerdas también propone ideas para comprender fenómenos en las escalas más grandes del universo. Si en el régimen cuántico nos obliga a pensar en longitudes aproximadas a la longitud de Planck, en el régimen cosmológico nos invita a considerar distancias del orden de

$$10^{26} m$$

que corresponden al tamaño del universo observable.

Es en ese rango extremo donde la gravedad domina, y donde las tensiones entre la relatividad general y la mecánica cuántica se hacen más evidentes.

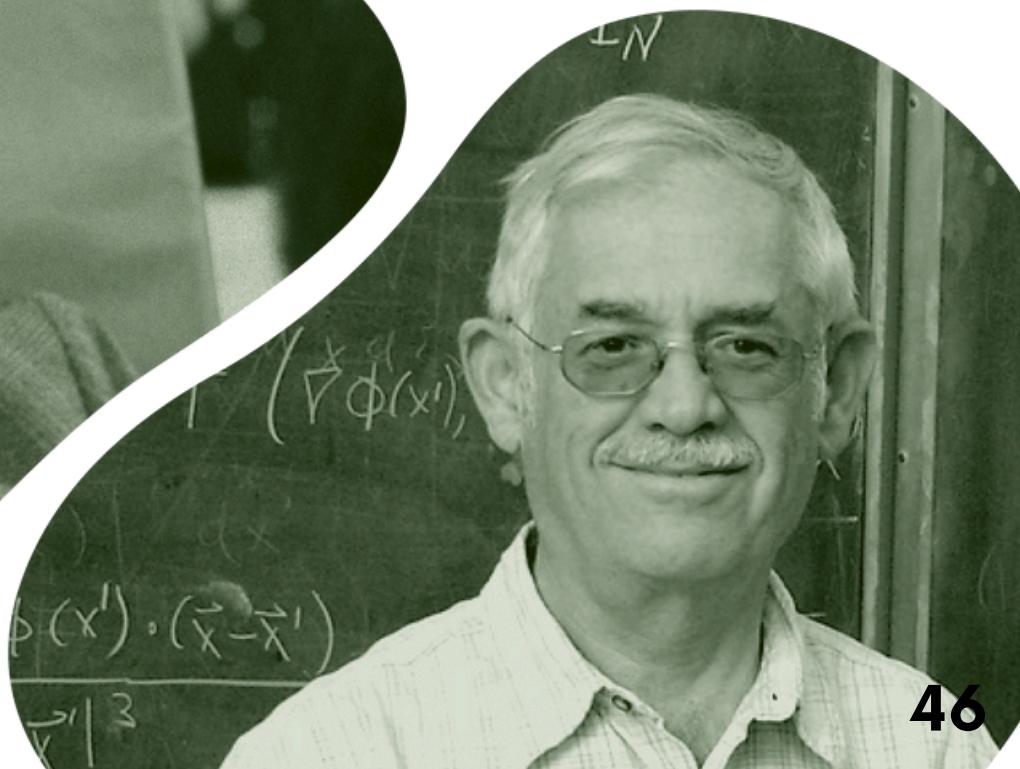
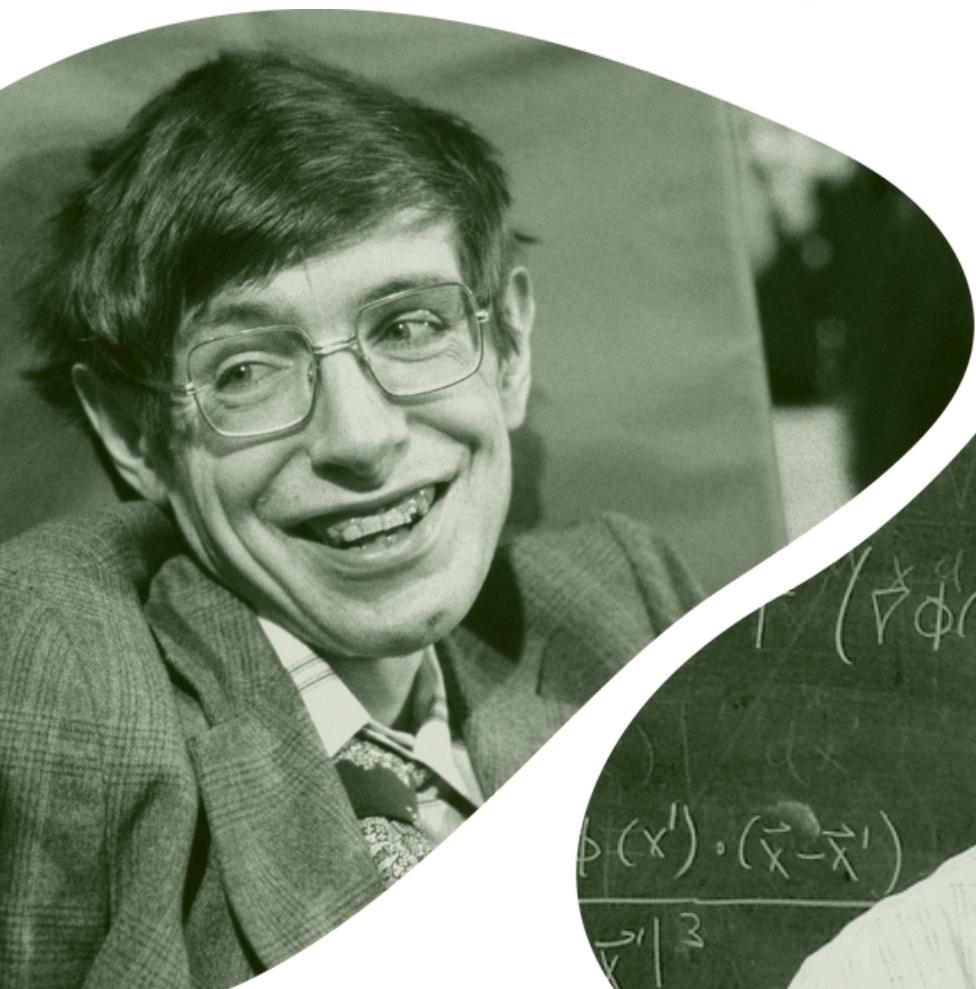
Uno de los escenarios donde esta tensión se vuelve crítica son los agujeros negros. La relatividad general predice singularidades donde la curvatura del espacio-tiempo se vuelve infinita, un límite que sugiere que la teoría gravitatoria clásica deja de ser válida.



En cambio, la teoría de cuerdas ofrece una posible solución: en lugar de un punto de densidad infinita, un agujero negro estaría descrito por estados cuánticos de cuerdas, y objetos extendidos que también provienen de la teoría, conocidos como membranas (las cuerdas consideradas abiertas naturalmente contienen extremos, las membranas vienen a ser entonces estos objetos multidimensionales donde las cuerdas “terminan” y cuyo movimiento está regido por las condiciones que se les impongan). Un hecho que despertó el interés de la comunidad científica fue la demostración de que la teoría reproduce la entropía de los agujeros negros propuesta por **Bekenstein** y **Hawking**, estableciendo así un vínculo entre la escala cósmica y la estructura vibrante de lo diminuto .

## Ecuación de Bekenstein-Hawking

$$S = \frac{\pi A K_B c^3}{2 h G}$$

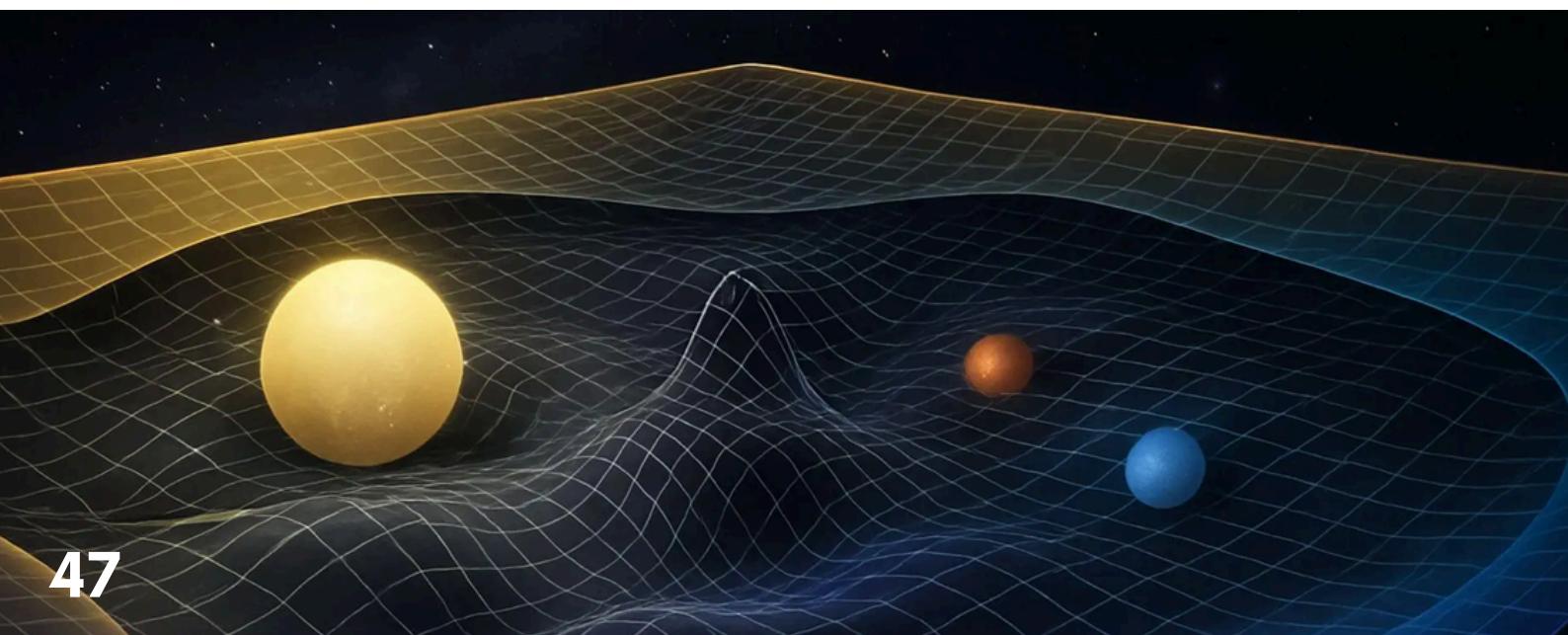


Finalmente, estudios más recientes han abordado con mayor profundidad las consecuencias cosmológicas inflacionarias de asumir un universo regido por la teoría de cuerdas, este podría constituir un camino para que la teoría se vincule directamente con los datos experimentales. Un enfoque que ganó fuerza en las últimas dos décadas es el paisaje de teoría de cuerdas: el hecho de que la teoría admite un número inmenso (en cálculos conservadores se estima del orden de )



de posibles soluciones, que en el marco de la teoría corresponden a las diversas maneras de compactificar o enrollar las dimensiones adicionales, cada una dando origen a distintos valores efectivos de la constante cosmológica.

En este panorama, la explicación de por qué observamos un valor tan pequeño podría atribuirse a una interpretación antrópica: solo en universos con un valor específico de  $\Lambda$  pueden formarse materia organizada, galaxias, planetas y, finalmente, vida capaz de reflexionar sobre ello.



La teoría de cuerdas, concebida como un marco teórico en constante desarrollo, aspira a explicar de forma unificada un espectro cada vez más amplio de las escalas que estructuran el universo, es una apasionante línea de investigación que sigue abierta a nuevas ideas y conceptos inexplorados. El avance en la infraestructura destinada a la investigación científica es cada vez mayor, y mientras nos acerquemos a detectar interacciones más fundamentales, o propiedades de la expansión del universo cada vez más precisas, teorías como estas pueden ser el faro que ilumine el camino hacia una comprensión más fundamental de nuestro universo. O quizás, en virtud de nuevos descubrimientos y propuestas, su destino sea convertirse en una concepción matemática muy interesante.



# REFERENCIAS

1. Fara, P. (2009). *Science: A four thousand year history*. Oxford University Press, USA.
2. Zwiebach, B. (2004). *A first course in string theory*. Cambridge University Press.
3. Becker, K., Becker, M., & Schwarz, J. H. (2006). *String theory and M-theory: A modern introduction*. Cambridge University Press.
4. Strominger, A., & Vafa, C. (1996). Microscopic origin of the Bekenstein-Hawking entropy. *Physics Letters B*, 379(1-4), 99-104.