

SE SIENTE CASI EN EL ESTOMAGO. Durante el movimiento de universos a través de dimensiones espaciales extra (mostradas aquí en una ilustración artística muy simplificada), su tamaño puede agrandarse enormemente. Se explicarían así varios misterios cosmológicos. Advertencia: hay que medir menos de 10^{-18} metros para viajar en esta montaña rusa.

La gran montaña rusa del cosmos

¿Será la inflación cósmica una manifestación de que nuestro universo se halla inmerso en una estructura mucho mayor?

Cliff Burgess y Fernando Quevedo

CONCEPTOS BASICOS

■ La teoría de cuerdas es la principal candidata a teoría fundamental de la naturaleza, pero carece todavía de verificación experimental. La inflación cósmica describe los primeros instantes de nuestro universo; sin embargo, carece de una explicación que se base en la física fundamental ¿Podría ser que cada una de estas disciplinas sea la solución de los problemas de la otra?

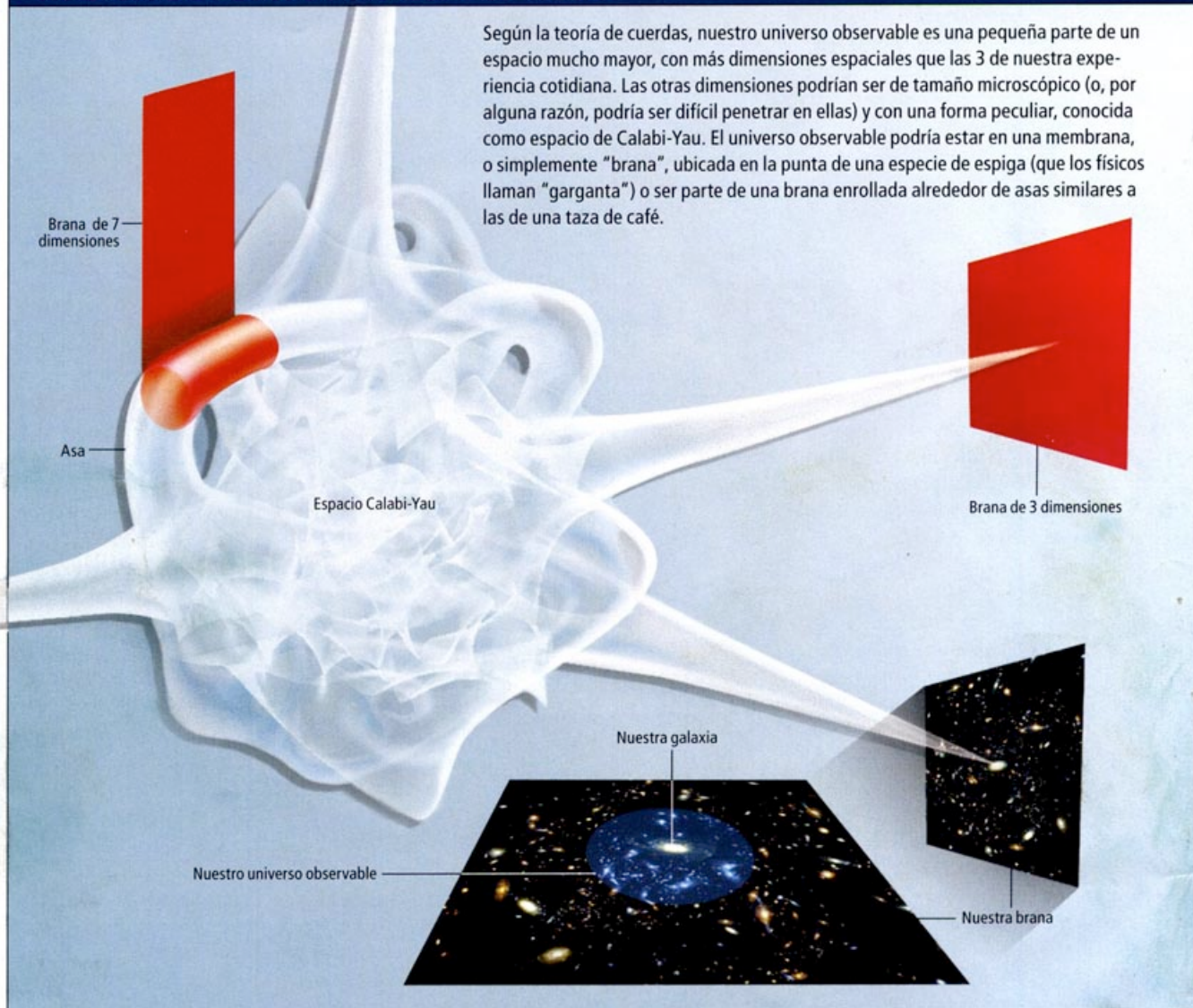
■ Mientras universos paralelos colisionan entre sí o nuevas dimensiones espaciales adquieren su forma final, el espacio de nuestro universo puede sufrir una gran expansión acelerada.

Cuesta creer que los cosmólogos puedan sentirse claustrofóbicos en un universo de 46.000 millones de años luz de radio, compuesto de miles de trillones de estrellas. Sin embargo, una de las ideas que va tomando cuerpo en el siglo XXI es que nuestro universo, todo lo que podemos observar, más lo que no podemos observar sólo porque está demasiado lejos y su luz no llega hasta nosotros, no es más que una pequeña región dentro de una gran extensión del espacio [véase "Universos paralelos", por Max Tegmark; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2003]. Varios tipos de 'universos paralelos' que componen un gran 'multiverso' aparecen de modo natural en distintas teorías cosmológicas. En general, no se espera que esos otros universos puedan observarse directamente. De una forma u otra, están separados del nuestro.

Sin embargo, algunos universos paralelos podrían interactuar con el nuestro y dejar en él efectos detectables. La teoría de cuerdas, candidata principal para proporcionar las leyes fundamentales de la naturaleza, ha traído la atención de los cosmólogos sobre la posibilidad de que existan mundos así. Aunque las cuerdas de esta teoría son extremadamente pequeñas, los principios que gobiernan sus propiedades predicen también la existencia de unos objetos membranosos a las que se da el nombre de 'branas', que pueden ser mucho mayores y ocupan más dimensiones. En particular, nuestro propio universo, con sus tres dimensiones espaciales, puede ser una brana de tres dimensiones alojada en un espacio de 9 dimensiones.

MUCHOS UNIVERSOS EN UNO

Según la teoría de cuerdas, nuestro universo observable es una pequeña parte de un espacio mucho mayor, con más dimensiones espaciales que las 3 de nuestra experiencia cotidiana. Las otras dimensiones podrían ser de tamaño microscópico (o, por alguna razón, podría ser difícil penetrar en ellas) y con una forma peculiar, conocida como espacio de Calabi-Yau. El universo observable podría estar en una membrana, o simplemente "brana", ubicada en la punta de una especie de espiga (que los físicos llaman "garganta") o ser parte de una brana enrollada alrededor de asas similares a las de una taza de café.



EXPECTATIVAS FUTURAS

- Confrontación experimental de las predicciones sobre ondas gravitatorias, por medio del satélite Planck y otros futuros detectores de ondas gravitatorias
- Búsqueda de cuerdas cósmicas por medio de telescopios
- Trabajo teórico para entender el momento de la gran explosión
- Esfuerzos sistemáticos para determinar si la teoría de cuerdas puede realmente explicar la inflación
- Estudiar la posibilidad de comunicarse con otros universos

El ajuste de la forma y el tamaño de estas dimensiones extra, las colisiones entre otros universos o ambas cosas pueden haber dejado huellas congruentes con lo que los astrónomos observan hoy.

Recientemente, la teoría de cuerdas ha recibido algunas críticas. La más pertinente es que todavía no ha sido puesta a prueba con los experimentos. Esta es una preocupación válida. Pero no es tanto una crítica a la teoría de cuerdas cuanto una manifestación de la dificultad de contrastar experimentalmente cualquier teoría física a distancias tan pequeñas. Las demás propuestas de leyes fundamentales de la naturaleza sufren el mismo problema [véase "Átomos del espacio y del tiempo", por Lee Smolin; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2004].

Los físicos de cuerdas buscan diferentes maneras de poner a prueba su teoría. Una

dirección prometedora consiste en ver cómo podrían las cuerdas explicar los aspectos misteriosos de nuestro universo; muy en especial, el modo en que el ritmo a que se expande el universo ha cambiado a través del tiempo.

De viaje

Este año se cumplirá el décimo aniversario del descubrimiento de que el universo se está expandiendo cada vez más deprisa, debido a una fuente desconocida de energía, la llamada "energía oscura". La mayor parte de los cosmólogos piensan que hubo un período aún más rápido de expansión acelerada —la "inflación"— mucho antes de que los átomos y, por supuesto, las galaxias existieran. Tras ese período de inflación, la temperatura del universo era miles de millones de veces más alta que las temperaturas que observamos hoy en la Tierra. Los cosmólogos y los físicos de

partículas elementales unen esfuerzos para tratar de entender las leyes fundamentales de la física a tales temperaturas. Este intercambio de ideas va reformulando las ideas acerca del universo temprano conforme a la teoría de cuerdas.

El concepto de inflación surgió de la necesidad de explicar un número de observaciones referentes al universo temprano. Algunas de ellas están relacionadas con el fondo de radiación cósmica de microondas (FRCM), una reliquia fósil del universo temprano. Por ejemplo, el FRCM revela que nuestro universo temprano era casi perfectamente uniforme, hecho que no tenía explicación antes de 1980. A principios de ese decenio, Alan Guth, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, demostró que un período de expansión sumamente rápida podría explicar dicha homogeneidad. La expansión acelerada habría diluido toda la materia preexistente y suavizado cualquier desviación en la densidad de materia [véase "El universo inflacionario", por Alan H. Guth y Paul Steinhardt; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA; julio de 1984 y "El universo inflacionario autorregenerante", por Andrei Linde; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 1995].

Quizás aún más importante: la inflación no deja al universo exactamente homogéneo. Durante el período inflacionario, la densidad de energía del espacio fluctúa debido a la naturaleza estadística de las leyes cuánticas que rigen a escalas subatómicas. A la manera de una fotocopiadora gigante, la inflación agrandó estas pequeñas fluctuaciones cuánticas a tamaños astronómicos, dando lugar a fluctuaciones predecibles de la densidad en la historia posterior del universo (incluidas las macroestructuras de galaxias y cúmulos de galaxias que existen en el presente).

Lo que se observa en el FRCM reproduce las predicciones del período inflacionario con precisión espectacular. Este éxito ha convertido a la inflación en la propuesta favorita de los cosmólogos para explicar el comportamiento del universo temprano. Nuevos satélites, entre ellos Planck, de la Agencia Espacial Europea, que empezarán a observar este año, tendrán como objetivo corroborarlo con mayor precisión.

Pero, ¿pueden las leyes de la física explicar la inflación? Aquí las cosas ya no están claras. Es muy difícil obtener un universo, compuesto de las formas conocidas de materia, que acelere su expansión. Una expansión acelerada requiere la existencia de una forma de energía con propiedades insólitas: su densidad de energía debe ser positiva y mantenerse casi constante, aunque el universo se esté expandiendo muchísimo. Además, la densidad de energía

POTENCIAS DE DIEZ

Los fenómenos naturales ocurren a muchas escalas. Los detalles finos tienden a ser poco importantes a escalas grandes, lo que hace muy difícil el poner a prueba las teorías cuánticas de la gravedad, como la teoría de cuerdas. Sin embargo la inflación cósmica permite que lo sumamente pequeño afecte a lo astronómicamente grande.

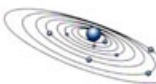
10^{26} metros:
Universo observable



10^{21} metros:
La vía Láctea



10^{13} metros:
Sistema solar



10^7 metros:
La Tierra



10^{-2} metros:
Insectos



10^{-10} metros:
Átomos



10^{-15} metros:
Núcleo atómico



10^{-18} metros:
Distancia más pequeña explorada por los aceleradores de partículas



10^{-18} a 10^{-35} metros:
Tamaños típicos de las cuerdas fundamentales y las dimensiones extra



10^{-35} metros:
Mínima longitud con significado en la naturaleza



tuvo que decrecer súbitamente para que la inflación terminase.

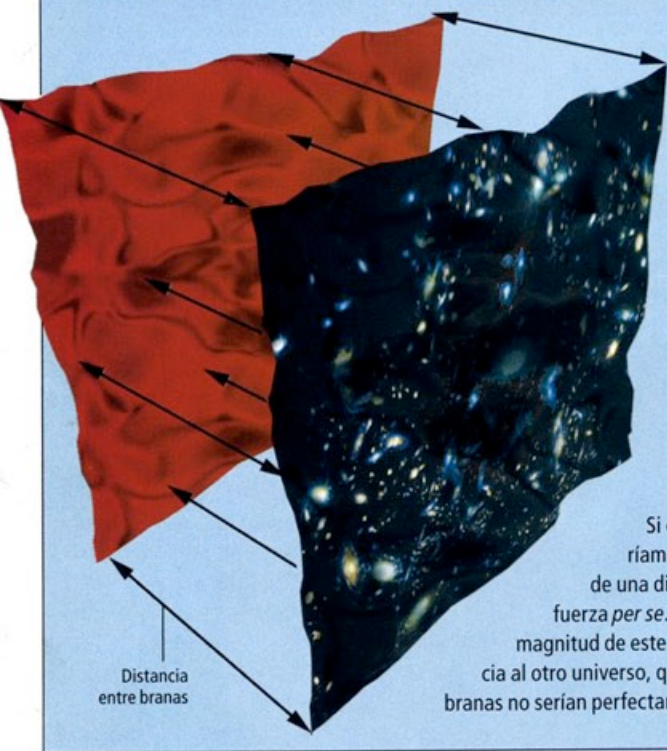
A primera vista, parece imposible obtener una densidad de energía que se mantenga constante: la expansión del universo la debería diluir. Pero una forma especial de energía, un campo escalar, puede evitar la dilución. Se puede imaginar un campo escalar como una sustancia primitiva que llena el espacio, a la manera de un gas, pero que no se comporta como ningún gas que conozcamos. Se parece a los campos electromagnéticos y gravitatorios, aunque es más simple. El término "campo escalar" sólo quiere decir que el campo se describe por un número, su magnitud, que puede variar de un punto a otro en el espacio. En cambio, un campo magnético es un campo vectorial, dotado de magnitud y dirección (hacia el norte del polo magnético) en cada punto del espacio. Un parte meteorológico provee ejemplos de ambos tipos de campos: la temperatura y la presión son escalares, mientras que la velocidad del viento es un vector.

El campo escalar que produjo la inflación, el "inflatón", causa un período de expansión acelerada antes de apagarse súbitamente. La dinámica se asemeja a los primeros momentos de un viaje en una montaña rusa. Primero se sube muy lentamente por un carril que es casi horizontal. ("Lentamente" es un término relativo; para la escala humana, el proceso ocurrió muy deprisa.) Luego viene el brusco descenso, durante el cual la energía potencial se convierte en energía cinética y finalmente en calor. Este comportamiento no es fácil de reproducir en las teorías físicas. Durante más de 25 años, se han propuesto muchas ideas para lograrlo, pero no se ha tenido éxito. La búsqueda se complica debido a nuestra ignorancia sobre lo que sucede a las energías increíblemente grandes que cuentan en cosmología.

Cuerdas y branas

En el decenio de los ochenta, mientras la inflación ganaba credibilidad, una línea independiente de razonamiento se estaba desarrollando para socorrer nuestra ignorancia sobre la física a estas energías. La teoría de cuerdas propone que las partículas subatómicas son en realidad objetos minúsculos, una especie de pequeñas cintas elásticas. Algunas de estas cuerdas forman lazos o cuerdas cerradas, mientras que otras son cuerdas abiertas, pequeños segmentos con dos puntos finales. La teoría atribuye todas las partículas elementales conocidas, y muchas otras por descubrir, a diferentes tipos de vibración de las cuerdas. La mejor parte de la teoría de cuerdas es que, a diferencia de las otras teorías de partículas elementales, las

ASI NOS AFECTAN OTRAS BRANAS



PLANO ESQUEMATICO DE LA DISTANCIA ENTRE BRANAS (CAMPO ESCALAR)



Si otro universo (brana) se acercara al nuestro, sentiríamos su influencia. La fuerza que nos ejerciera vendría de una dirección indefinible; no la percibiríamos como una fuerza *per se*. Lo que detectaríamos sería un campo escalar. La magnitud de este campo en cualquier lugar dependería de la distancia al otro universo, que variaría ligeramente con la posición porque las branas no serían perfectamente paralelas.

La energía representada por tal campo pudo haber causado inflación, una expansión inmensa en el tamaño de nuestro universo muy al principio de la historia cósmica. La inflación pudo haber magnificado efectos de cuerdas a escalas cósmicas. (Parece que empezó a suceder un aumento similar de la velocidad de expansión mucho más recientemente, causado por la energía oscura.)

Para dar lugar a la inflación, la densidad de energía del campo escalar tuvo que ser casi constante, para caer súbitamente, como el descenso en picado de una montaña rusa.

cuerdas incluyen a la gravedad orgánicamente. Esto es, la gravedad emerge de forma natural de la teoría, sin necesidad de que su existencia haya sido dada por supuesta de entrada.

Si la teoría es correcta, el espacio no es lo que aparenta ser. En particular, la teoría predice que el espacio tiene 9 dimensiones. Por tanto, al incluir el tiempo, se tiene un espacio-tiempo de 10 dimensiones. Lo que representa 6 dimensiones más que las usuales 3 de ancho, largo y alto. Estas dimensiones extra deben ser invisibles para nosotros. Por ejemplo, podrían ser muy pequeñas; nos pasarían inadvertidas por la sencilla razón de que no podemos encajar en ellas. Un estacionamiento de coches puede tener una fractura del grosor de un pequeño filamento, lo que le añadiría una tercera dimensión (profundidad) a la superficie del pavimento. Pero si la fractura es muy pequeña, no lo notaríamos. Hasta los físicos de cuerdas tienen dificultad en visualizar las 9 dimensiones, pero si la historia de la física nos ha enseñado algo, es que la verdadera naturaleza del mundo puede estar más allá de nuestra capacidad de representación visual.

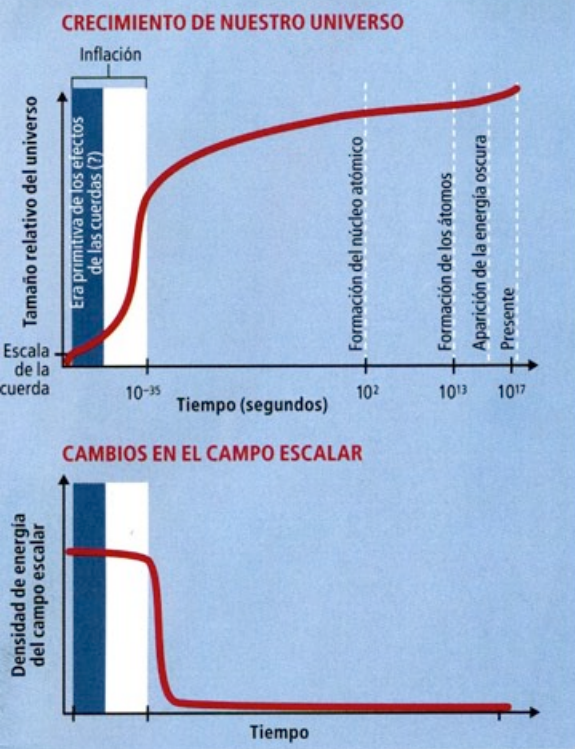
A pesar de su nombre, la teoría no trata solamente sobre cuerdas. También contiene otro tipo de objetos, las branas de Dirichlet, o simplemente D-branas. Las D-branas son superficies grandes y masivas que flotan en el espacio. Funcionan como superficies resbaladizas donde los puntos finales de cuerdas abiertas

se deslizan, aunque libres, sin poder escapar de la superficie. Partículas subatómicas como los electrones y los protones pueden ser cuerdas abiertas y, por lo tanto, estarían atrapadas en una brana. Sólo unas pocas partículas, como el gravitón (la partícula que transmite la fuerza de la gravedad), deben ser cuerdas cerradas, capaces de moverse con libertad a través de todas las dimensiones extra y no solamente en una superficie. Esta distinción ofrece una segunda razón para no poder observar las dimensiones adicionales: nuestros instrumentos están hechos de partículas atrapadas en una D-brana. Si fuese así, instrumentos del futuro podrían valerse de gravitones para tratar de detectar estas dimensiones extra.

Las D-branas pueden tener cualquier número de dimensiones, hasta 9. Una D-brana de cero dimensiones (D0-brana) es un tipo de partícula, una D1-brana es un tipo especial de cuerda (no el mismo que una cuerda fundamental), una D2-brana es una membrana o pared, una D3-brana es un volumen con anchura, profundidad y altura, etcétera. Nuestro universo podría hallarse atrapado en una D3-brana; sería "un mundo-brana". Otros mundos brana podrían estar flotando en las dimensiones extra. Cada uno sería un universo para los que viven dentro de ellos. Como las branas se pueden mover en las dimensiones extra, se pueden comportar como partículas. Se desplazan, colisionan, se aniquilan entre sí, incluso pueden formar sis-

Los autores

Cliff Burgess y Fernando Quevedo se conocieron a comienzos de los ochenta, cuando preparaban su doctorado bajo la tutoría de Steven Weinberg. Desde entonces han trabajado juntos, sobre todo en la relación de la teoría de cuerdas con la física observable. Burgess es investigador del Instituto Perimeter de Waterloo en Ontario y profesor de la Universidad McMaster en Hamilton. Quevedo es profesor de la Universidad de Cambridge. También ha trabajado en ayudar al desarrollo de la ciencia en su país, Guatemala.



temas de branas orbitando alrededor de otras branas, como planetas.

Aunque estos conceptos son fascinantes, la prueba crucial de una teoría viene cuando se la confronta con los experimentos. Es aquí donde la teoría de cuerdas ha decepcionado porque no ha sido posible someterla a contrastación experimental, a pesar de más de 20 años de investigación continua. Encontrar una prueba indiscutible, una predicción que sometida a experimentación nos dijera sin lugar a dudas si el mundo está hecho de cuerdas, resulta harto difícil. Ni siquiera el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) —a punto de entrar en funcionamiento en el CERN, el laboratorio europeo para la física de partículas, cerca de Ginebra— podría carecer de capacidad suficiente para explorar las energías en las que se pondría a prueba la teoría de cuerdas.

Contemplar las dimensiones invisibles

Esto nos devuelve a la inflación. Si la inflación ocurriese a las altas energías donde se manifiesta la naturaleza de cuerdas de las partículas elementales, nos aportaría las pruebas experimentales que los físicos de cuerdas han venido buscando. Durante los últimos años se ha registrado una intensa actividad tratando de demostrar la inflación a partir de la teoría de cuerdas. Por desgracia, resulta más fácil enunciar esa meta que alcanzarla.

GLOSARIO

TEORÍA DE CUERDAS

Candidata a teoría unificada de todas las fuerzas y las partículas.

INFLACIÓN

Un período de expansión cósmica acelerada en el universo temprano.

UNIVERSO OBSERVABLE

La suma de todo lo que vemos.

NUESTRO UNIVERSO

El universo observable, más lo que existe a distancias más allá del horizonte que nos marca la velocidad finita de la luz.

OTRO UNIVERSO

Una región del espaciotiempo que no pertenece a nuestro universo, quizá con distintas propiedades y leyes físicas.

CALABI-YAU

Forma que toman las 6 dimensiones extra.

BRANA

Puede ser una hoja bidimensional (como una membrana ordinaria) o una variante de más o menos dimensiones.

CAMPO

Una forma de energía que llena el espacio como si fuera niebla.

CAMPO ESCALAR

Campo descrito por un solo número para cada posición. Ejemplos: la temperatura, el inflatón.

MODULI

Campos escalares que describen la forma y el tamaño de las dimensiones ocultas del espacio.

ANILQUILAR

Convertir completamente en radiación, como sucede cuando materia y antimateria o branas y antibranas colisionan.

Más en concreto, los físicos se afanan por dilucidar si la teoría de cuerdas predice la existencia de un campo escalar con dos propiedades determinadas. La primera, que para impulsar un período de inflación, su energía potencial debe ser grande, positiva y aproximadamente constante. La segunda, que esta energía potencial debe ser capaz de convertirse súbitamente en energía cinética: la caída en picado por la ladera de la montaña rusa que termina la inflación.

La buena noticia es que la teoría de cuerdas predice muchos campos escalares. Estos campos son una especie de premio de consolación para las criaturas como nosotros, atrapadas en tres dimensiones: aunque no podamos aventurarnos por las dimensiones extra, las percibimos indirectamente como campos escalares. Esta situación es análoga a viajar en avión con las ventanas cerradas. No podemos ver la tercera dimensión (altura), pero podemos percibir sus efectos cuando sentimos el cambio de presión en los oídos. Este cambio de presión (un campo escalar) es la forma indirecta en que se manifiesta la dimensión extra.

La presión del aire representa el peso de la columna de la atmósfera sobre nuestra cabeza. ¿Qué representan los campos escalares de la teoría de cuerdas? Algunos, el tamaño o la forma del espacio en las dimensiones extra; reciben una denominación matemática: campos geométricos “moduli”. Otros representan la distancia entre mundos brana. Por ejemplo, si nuestra D3-brana se acerca a otra D3-brana, la distancia entre las dos podría variar un poco con la ubicación debido a pequeñas fluctuaciones en nuestra brana. Que unos físicos en Toronto midiesen este campo escalar y encontraran un valor 1, y otros en Cambridge encontrasen un valor 2, indicaría que la brana vecina se encuentra dos veces más lejos de Cambridge que de Toronto.

Mantener una configuración en la que dos branas que se acercan entre sí requiere energía potencial del campo escalar que representa la separación entre las branas. Esta energía podría dar lugar a inflación, como propusieron Georgi Dvali, de la Universidad de Nueva York, y Henry Tye, de la Universidad Cornell, en 1998.

La mala noticia es que los primeros cálculos no fueron muy favorables. El perfil de la energía se parecía más a un tren estacionado en terreno plano que a un coche que ascendiese por la montaña rusa.

Introducción de las antibranas

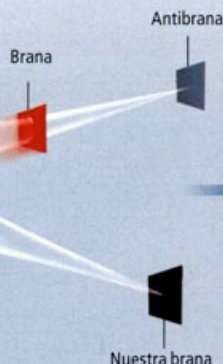
Esta era la situación cuando empezamos a pensar en esto en 2001, junto con Mahbub

COLISIONES BRANA-ANTIBRANA

Branas y antibranas son como materia y antimateria: tienen cargas opuestas y se atraen entre sí.

Su atracción aumenta el tamaño de algunas de sus dimensiones.

Cuando estas branas se acercan, se aniquilan, liberando suficiente energía para crear materia en branas cercanas.



Como respuesta a la interacción entre brana y antibrana, nuestro universo, que habitaría en una brana cercana, también aumentaría de tamaño, evitando sin embargo la aniquilación apocalíptica.

Bibliografía complementaria

LECTURES ON STRING/BRAVE COSMOLOGY. Fernando Quevedo en *Classical and Quantum Gravity*, vol. 19, n.º 22, págs. 5721–5779; 21 de noviembre, 2002.

BRANE INFLATION: STRING THEORY VIEWED FROM THE COSMOS. Henry S.-H. Tye. <http://arxiv.org/abs/hep-th/0610221>.

ON INFLATION IN STRING THEORY. Renata Kallosh. <http://arxiv.org/abs/hep-th/0702059>

INFLATIONARY COSMOLOGY. Andrei Linde. <http://arxiv.org/abs/0705.0164>

LECTURES ON COSMIC INFLATION AND ITS POTENTIAL STRINGY REALIZATIONS. C. P. Burgess. I.O.P. Publishing, enero 2007.

SEARCHING FOR INFLATION IN SIMPLE STRING THEORY MODELS: AN ASTROPHYSICAL PERSPECTIVE. Mark P. Hertzberg, Max Tegmark, Shamit Kachru, Jessie Shelton y Onur Ozcan en *Physical Review D*, vol. 76, n.º 103521; 13 de noviembre, 2007.

Majumdar, en aquel tiempo en la Universidad de Cambridge, y Govindan Rajesh, Ren-Jie Zhang y el fallecido Detlef Nolte, todos ellos entonces en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Dvali, Sviatoslav Solganik, de la Universidad de Nueva York, y Qaisar Shafi, de la Universidad de Delaware, desarrollaron ideas parecidas al mismo tiempo.

Nuestra innovación consistió en considerar branas y antibranas. Las antibranas son a las branas lo que las antipartículas a las partículas. Branas y antibranas se atraen mutuamente, de la misma manera que los electrones se atraen con sus antipartículas, los positrones. Si una brana y una antibrana se acercan entre sí se aniquilan, así como un par partícula-antipartícula se aniquila y convierte en radiación. La energía contenida en las branas puede proporcionar la energía positiva que se necesita para iniciar la inflación, mientras que su atracción mutua proveería la forma de terminar la inflación, con la brana y la antibrana chocando para aniquilarse en una gran explosión. Afortunadamente, nuestro universo no tiene por qué ser aniquilado para beneficiarse de este proceso inflacionario: sus efectos se propagan a branas cercanas.

Cuando calculamos la fuerza de atracción en este modelo, encontramos que era demasiado intensa para explicar la inflación. Con todo, el modelo era una prueba de principio, que enseñaba cómo podría un proceso estable presentar un final súbito, que llenase nuestro universo de partículas. Nuestra hipótesis de las antibranas inspiró también nuevas ideas

acerca de la razón de que nuestro universo sea tridimensional (véase el recuadro “¿Por qué nuestro universo es tridimensional?”).

El espacio se deforma

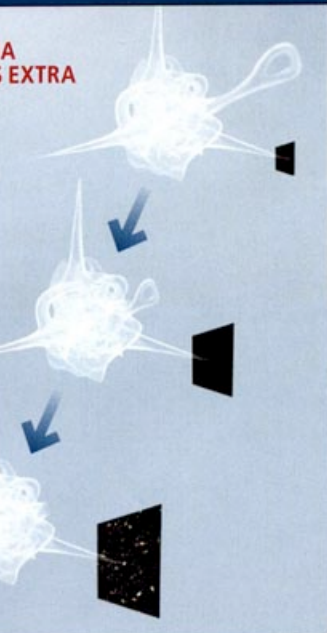
El siguiente nivel de refinamiento era preguntarse qué sucedería si el espacio mismo, y no sólo las branas de su interior, fuera dinámico. En nuestro trabajo inicial habíamos dado por supuesto que el tamaño y la forma de las dimensiones extra estaban fijas, mientras que las branas se movían a través de ellas. Esta era una omisión muy seria porque el espacio se deforma en respuesta a la presencia de la materia. Pero en 2001 no se sabía calcular estas deformaciones del espacio en la teoría de cuerdas.

Dos años después, la situación cambió drásticamente. En el 2003 se elaboró un nuevo marco teórico, llamado KKLT, por las iniciales de sus creadores: Shamit Kachru, Renata Kallosh y Andrei Linde, de la Universidad de Stanford, y Sandip Trivedi, del Instituto Tata de Investigación Fundamental, de Mumbai.

Este modelo describe las circunstancias bajo las cuales la geometría de las dimensiones extra se vuelve rígida y, por lo tanto, no cambia mucho cuando los objetos se mueven a través de ellas. Predice un número gigantesco de posibles configuraciones para las dimensiones extra, cada una correspondiente a un universo diferente. El conjunto de posibilidades se denomina “paisaje de la teoría de cuerdas”. Cada posibilidad podría realizarse en su propia región del multiverso [véase “El

MOLDEO DE LA FORMA DE LAS DIMENSIONES EXTRA

Las dimensiones extra pudieron empezar con una forma que difiere de la que tienen ahora. La energía potencial que las conduce a tomar su configuración final pudo también dar lugar a la inflación de las 3 dimensiones que observamos.



paisaje de la teoría de cuerdas”, por Raphael Bouso y Joseph Polchinski; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2004].

Dentro del esquema KKLt, la inflación puede ocurrir en al menos dos formas. En primer lugar, podría resultar de la respuesta gravitatoria de las dimensiones extra al movimiento de branas y antibranas. La geometría de las dimensiones adicionales puede ser muy peculiar, como un pulpo con varios tentáculos o “gargantas”. Si una brana se mueve a lo largo de una de estas gargantas, su movimiento a través de las dimensiones deformadas atenúa la atracción entre la brana y su antibrana. Esta atenuación permite el rodamiento lento que puede dar lugar a la inflación. Así se resolvería quizás el problema más importante de nuestra propuesta original.

En segundo lugar, la inflación podría haber sido causada solamente por los cambios en la geometría de las dimensiones extra, sin necesidad de introducir branas en movimiento. Hace dos años, presentamos, junto con nuestros colaboradores, el primer modelo de inflación en cuerdas que sigue esa posibilidad. A este proceso general se le conoce por inflación moduli porque los campos moduli, mencionados anteriormente, describen la geometría de las dimensiones extra los que funcionan como inflatones. Mientras las dimensiones extra se ajustan para tomar su forma y tamaño actual, las 3 dimensiones de nuestra experiencia se expanden a un paso acelerado. En esencia, el universo se esculpe a sí mismo. La inflación moduli relaciona entonces el tamaño de las dimensiones que

vemos con la forma y el tamaño de las dimensiones que no vemos.

Cuerdas en el cielo

Los modelos inflacionarios de cuerdas, a diferencia de muchos otros aspectos de la teoría de cuerdas, quizá sean puestos a prueba experimental en un futuro próximo. Los cosmólogos han pensado durante mucho tiempo que la inflación puede producir ondas gravitatorias, pequeñas variaciones en el tejido mismo del espacio y el tiempo. La teoría de cuerdas altera esta predicción: todos los modelos inflacionarios de cuerdas hasta ahora predicen ondas gravitatorias inobservables. El satélite Planck tendrá una sensibilidad para detectar ondas gravitatorias mucho más fina que los instrumentos actuales. Si las llega a detectar, eliminaría todos los modelos inflacionarios de cuerdas construidos hasta ahora.

Los modelos de inflación debida a branas predicen también, por lo general, la existencia de unas estructuras lineales gigantescas, las “cuerdas cósmicas”, que, como dijimos anteriormente, aparecerían en la aniquilación de branas con antibranas. Estas cuerdas pueden ser de distintos tipos: D1-branas o cuerdas fundamentales ampliadas a tamaños enormes, o combinaciones de ambas. Si existieran, debería detectarse por la forma en que distorsionarían la luz procedente de las galaxias.

A pesar del gran progreso teórico en esta dirección, quedan todavía muchas preguntas por responder. No se ha establecido que el período de inflación realmente ocurriese. Si observaciones más refinadas cuestionaran en el futuro la inflación, los cosmólogos deberán buscar explicaciones alternativas del universo temprano. La teoría de cuerdas ha inspirado ya algunas; entre ellas, las que establecen que el universo existió antes de la gran explosión, quizá como parte de un ciclo perpetuo de creación y destrucción [véase “El universo antes de la gran explosión”, por Gabriele Veneziano; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2004]. La dificultad en estos casos reside en no contar con una descripción apropiada de la transición que marca el momento de la gran explosión.

En resumen, la teoría de cuerdas provee dos mecanismos generales para obtener la inflación cósmica: la colisión de branas y la deformación de las dimensiones extra del espacio-tiempo. Por primera vez se han derivado modelos concretos de inflación cósmica, sin tener que partir de injustificados supuestos *ad hoc*. El progreso es muy alentador. La teoría de cuerdas, nacida del esfuerzo por entender fenómenos a escalas minúsculas, podría estar manifestándose a lo largo de todo el firmamento.

¿Por qué nuestro universo es tridimensional?

Cuando brana y antibrana se encuentran no se aniquilan directamente. Primero se fragmentan en trozos. Estos trozos son branas y antibranas que ocupan dos dimensiones menos que las branas originales. Por ejemplo, si las branas y antibranas iniciales generaban un espacio de 7 dimensiones (una D7-brana y su antibrana), se fragmentan en muchas D5 branas y sus antibranas. Estos trozos se aniquilan y producen D3-branas y sus antibranas y luego D1-branas. A este nivel las branas desaparecen del todo.

La cascada de aniquilaciones de brana-antibrana tiende a eliminar branas de dimensiones altas porque éstas propenden a encontrarse con sus antibranas mientras viajan en las dimensiones extra. A las branas de dimensiones menores, como las D3 y D1, les cuesta más encontrar a sus antibranas en la inmensidad del espacio de 9 dimensiones. Este proceso podría explicar por qué la mayoría de las branas, como la nuestra, tienden a tener pocas dimensiones. Lisa Randall, de la Universidad de Harvard, y Andreas Karch, de la de Washington, generalizaron nuestros resultados para incluir 9 dimensiones en expansión y encontraron que a lo largo de la historia del universo podrían sobrevivir D7-branas, además de las D3 y D1.