

TEMAS 72

INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

InvestigacionyCiencia.es

ONDAS GRAVITACIONALES

Las huellas
de la gran
explosión

ENERGÍA OSCURA

Cuando la
aceleración
cambió de signo

FORMACIÓN DE GALAXIAS

En busca de
las galaxias
perdidas

TEORÍAS ALTERNATIVAS

Cosmología
cuántica
de bucles

6,50 EUROS

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

2º TRIMESTRE 2013



9 778411 355668

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

MENTE y CEREBRO

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
N.º 441
JUNIO 2013

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Junio 2013 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

MEDICINA
Avances en
reparación
de tejidos

MEDIOAMBIENTE
Gestión
de reservas
marinas

ASTRONÁUTICA
Misiones
espaciales
de bajo coste

Partículas fantasmales

La naturaleza exótica
de los neutrinos amplía
los horizontes de la física



6,50 EUROS

Disponible en su quiosco el número de junio



Suscríbese a la versión **DIGITAL** de todas nuestras publicaciones y acceda al contenido completo de todos los números (en pdf)*

www.investigacionyciencia.es

* Ejemplares de IyC disponibles desde 1996 y el archivo completo de MyC, TEMAS y CUADERNOS

Origen y evolución del universo

HUELLAS DEL UNIVERSO PRIMITIVO

4 Una ventana al primer instante del universo

Daniel G. Figueroa y Juan García-Bellido

12 El origen de la materia

James M. Cline

22 Defectos del universo

Marcos Cruz

EVOLUCIÓN CÓSMICA A GRAN ESCALA

32 Cuando la aceleración cambió de signo

Adam G. Riess y Michael S. Turner

38 La mano invisible del universo

Christopher J. Conselice

46 Mundos oscuros

Jonathan Feng y Mark Trodden

54 En busca de las galaxias perdidas

James E. Geach

COSMOLOGÍAS ALTERNATIVAS

64 La inflación a debate

Paul J. Steinhardt

72 Galaxias enanas y materia oscura

Pavel Kroupa y Marcel Pawłowski

82 Energía oscura o vacío cósmico

Timothy Clifton y Pedro G. Ferreira

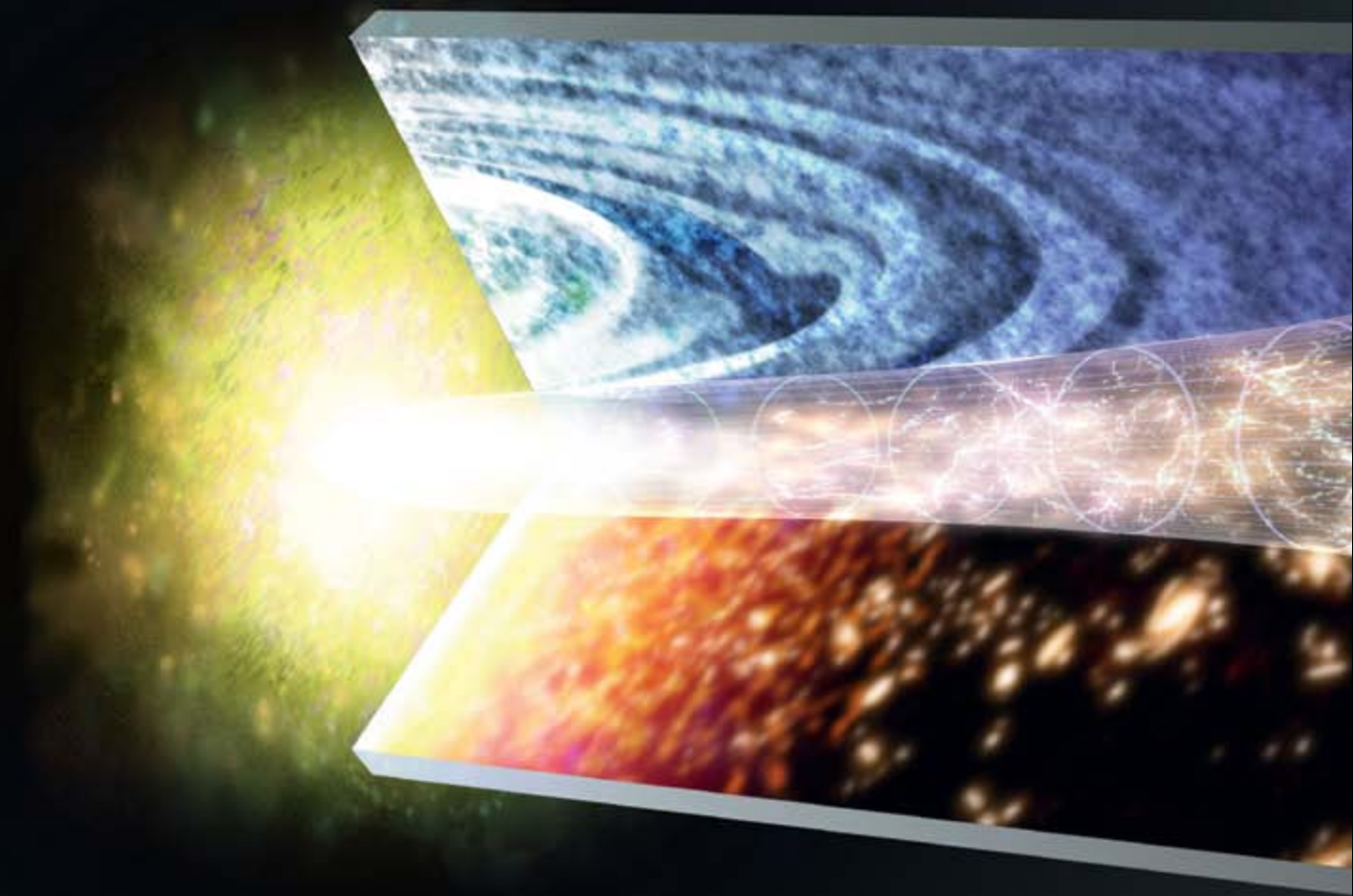
90 Rebote del universo

Martin Bojowald

HUELLAS DEL UNIVERSO PRIMITIVO

HUELLAS DEL UNIVERSO PRIMITIVO

Una ventana al primer instante del universo



EN SÍNTESIS

Según la teoría de la inflación cósmica, durante la primera fracción de segundo el universo habría sufrido una fase de expansión exponencial.

Justo después, la energía responsable de ese estiramiento primigenio se habría transformado en toda la materia y radiación que hoy llenan el cosmos.

Dicho proceso de creación de materia y radiación tuvo que emitir una ingente cantidad de ondas gravitacionales.

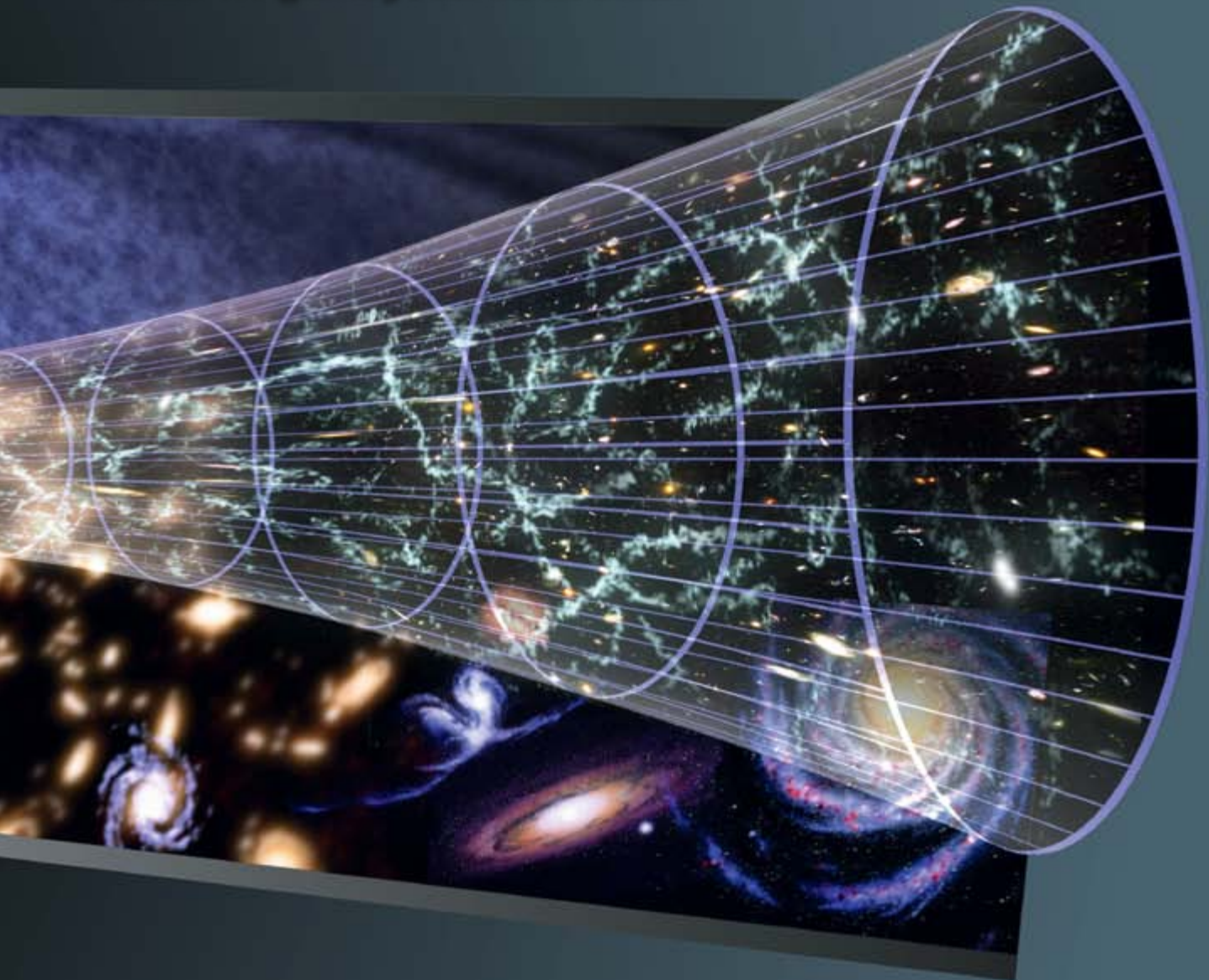
Esas ondas podrían ser detectadas en un futuro próximo. Su descubrimiento permitiría descifrar la física de los primeros instantes del universo.

NASA (ADAPTACIÓN)



Poco después de la gran explosión se generó un fondo de ondas gravitacionales que aún hoy permea el universo. Su detección permitiría observar cómo era el cosmos una fracción de segundo después de su origen

Daniel G. Figueroa y Juan García-Bellido



NUESTRO CONOCIMIENTO ACTUAL DEL UNIVERSO SE basa en la teoría de la gran explosión. Esta explica la evolución del cosmos desde la primera fracción de segundo después de su nacimiento hasta nuestros días, unos 13.700 millones de años más tarde. Ese primer instante, sin embargo, continúa planteando grandes retos teóricos. ¿Sería posible acceder experimentalmente a él? Por extraordinario que parezca, la respuesta bien podría ser afirmativa.

Hoy sabemos que el origen de nuestro universo se caracterizó por procesos físicos de energías extraordinariamente elevadas. Uno de ellos fue la creación de toda la materia y radiación que contiene el cosmos actual. De acuerdo con la teoría cosmológica más aceptada, la materia no se creó en el mismo instante en que nació el universo, sino una minúscula fracción de segundo después. Ese proceso tuvo lugar de manera tan violenta que debió provocar una ingente emisión de ondas gravitacionales. Desde entonces, esas ondas habrían estado propagándose libremente por el cosmos, portando consigo la información de lo que sucedió en aquel instante.

En una serie de trabajos publicados a lo largo de los últimos años, hemos analizado en detalle varias formas en las que pudo transcurrir la producción primigenia de materia y energía en el universo. Nuestro trabajo nos ha permitido predecir las características de las ondas gravitacionales que se emitieron entonces. Bajo ciertos supuestos, su amplitud y frecuencia se hallarían al alcance de la próxima generación de detectores de ondas gravitacionales. De ser así, ese fondo fósil de radiación gravitatoria nos abriría las puertas a una vía de investigación nunca antes explorada. Los primeros instantes del universo nos serían revelados.

Cabe subrayar que, hasta ahora, la señal cósmica más antigua que hemos sido capaces de detectar es la radiación electromagnética del fondo cósmico de microondas (CMB, por sus siglas en inglés), la cual fue emitida cuando el universo tenía 380.000 años. Se trata sin duda de una fuente de incalculable valor en la investigación del universo primitivo, pues data de cuando el cosmos apenas tenía el 0,003 por ciento de su edad actual. Sin embargo, palidece en comparación con la posibilidad de observar cómo era el universo justo después de su origen.

LA VERDADERA GRAN EXPLOSIÓN

La teoría de la gran explosión fue propuesta durante el primer tercio del siglo xx. Según su versión moderna, el universo nació hace 13.700 millones de años. En sus inicios, ocupaba un volumen ínfimo y se encontraba en un estado extremadamente denso y caliente. Desde entonces ha venido expandiéndose y enfriándose, en un proceso que, a lo largo de miles de millones de años, ha dado lugar a los átomos, las estrellas y las galaxias que conforman el universo actual.

Dicho modelo de evolución cósmica se apoya en la relatividad general (la teoría moderna de la gravedad, formulada por Albert Einstein en 1915) y en tres hechos empíricos muy robustos: la recesión observada de las galaxias lejanas; la abundancia relativa de elementos químicos ligeros (hidrógeno, helio y litio, creados pocos minutos después de la gran explosión) y la existencia de un fondo cósmico de radiación de microondas.

Esa radiación fue emitida en todos los puntos del espacio unos 380.000 años después de la gran explosión. En ese momento, el universo se enfrió lo suficiente como para que electrones y protones pudieran combinarse y formar los primeros átomos neutros. Dado que la radiación electromagnética no interacciona con la materia neutra, a partir de entonces los fotones quedaron libres para propagarse por el espacio y atravesar largas distancias. Dicha radiación, que aún hoy continúa llegando hacia nosotros,

constituye la luz más antigua que podemos ver: antes de ser emitida, el universo se encontraba lleno de un plasma de partículas cargadas que, como una niebla impenetrable, dispersaba continuamente la luz. Por tanto, ninguna señal electromagnética anterior a aquella época ha podido sobrevivir hasta nuestros días.

Sin embargo, a pesar de sus éxitos predictivos, la teoría de la gran explosión no explica la extraordinaria homogeneidad, isotropía y planitud (ausencia de curvatura espacial) que exhibe el cosmos actual a gran escala. Todas las observaciones modernas confirman que el universo presenta el mismo aspecto en todo lugar y en toda dirección hacia la que miremos. Para acabar adquiriendo esa tremenda uniformidad, el cosmos primigenio tendría que haber comenzado en un estado sumamente regular y plano desde el principio: unas condiciones muy improbables para las que la teoría no encuentra ninguna justificación. Además, el modelo de la gran explosión tampoco aclara el origen de las fluctuaciones iniciales en la densidad de materia, los «grumos» en la sopa primigenia que hoy sabemos que fueron necesarios para que, miles de millones de años después, se formasen por atracción gravitatoria las galaxias, los cúmulos y los supercúmulos de galaxias. Por último, tampoco sabemos qué mecanismos detonaron la gran explosión.

La teoría de la inflación cósmica fue propuesta hace unos treinta años para resolver esas dificultades. Por inflación entendemos un período muy breve al comienzo del universo en el que una densidad de energía aproximadamente constante habría provocado que el espacio se expandiese a un ritmo exponencial. Se cree que dicha energía se hallaba asociada a cierto campo físico, el inflatón, el cual solo habría existido durante aquellos primeros instantes. Los diferentes modelos estiman que el período inflacionario duró muy poco, entre 10^{-35} y 10^{-10} segundos. Con todo, ese brevísimo lapso de tiempo bastó para que cada dirección del espacio aumentase su tamaño en el increíble factor de 10^{26} , si no más. Las proporciones de aquel estiramiento primigenio fueron tan colosales que toda irregularidad inicial habría quedado «diluida» desde el principio. Así pues, la inflación constituye una hipótesis elegante que, sin necesidad de imponer condiciones iniciales *ad hoc*, explica la casi perfecta homogeneidad, isotropía y planitud del cosmos actual.

Además, según las leyes de la mecánica cuántica, el campo del inflatón no pudo haber sido completamente uniforme. Como todo campo cuántico, debió experimentar pequeñas fluctuaciones aleatorias. Según la teoría de la relatividad general, aquellas fluctuaciones tuvieron que provocar leves distorsiones en la geometría del espaciotiempo, las cuales, dilatadas por la gran expansión, acabaron generando los grumos iniciales en la distribución de materia.