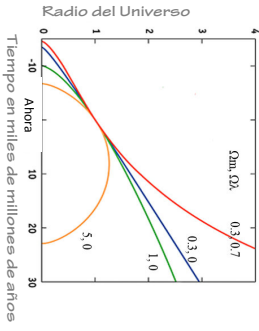


La evolución del radio del Universo, según varios modelos cosmológicos para valores distintos de los parámetros Ω_m , la densidad de materia, y Ω_Λ , la densidad de energía del Universo. La evolución del Universo está ligada al valor de $\Omega = \Omega_m + \Omega_\Lambda$. Si $\Omega = 5$, el Universo se recondena en un Big-Crunch (curva amarilla). Si el Universo tiene cero curvatura ($\Omega = 1$) o curvatura negativa ($\Omega = 0.5$), la expansión se extiende al infinito (curvas verde y azul).



La constante cosmológica
 En 1915, Albert Einstein publicó las ecuaciones de la relatividad general, las cuales ligaban la geometría del Universo con la cantidad de materia y energía que contiene. Para explicar un universo estático (lo que se creía en ese momento), añadió un término llamado constante cosmológica, Λ . Cuando en 1929 quedó claro que el Universo se expande, Einstein declaró que la introducción de Λ había sido el mayor error de su vida. Durante la mayor parte del siglo 20, se ignoró Λ . Pero en 1998, usando supernovas tipo Ia (indicadores de distancia más poderosos que las Cefeidas), dos grupos de observadores descubrieron que la expansión del Universo se está acelerando. Recibieron el premio Nobel en 2011.

El horizonte del Universo observable.
 Todos los observadores están en el centro de una esfera que representa su Universo observable. No pueden observar nada más allá de este horizonte. Las galaxias que puedan existir más allá del horizonte no han tenido tiempo de comunicarse con los observadores porque sus fotones, viajando a la velocidad de la luz, no han tenido el tiempo necesario para llegar a los observadores.



La radiación fósil
 Debido a su expansión, el Universo se enfría. Su temperatura actual es de solo 3 grados sobre el cero absoluto (3 K o 270° C). El Universo está lleno de radiación a esa temperatura, una reliquia del Big Bang. Esta radiación fue detectada por casualidad en 1965 por los radio-astrónomos Arno Penzias y Bob Wilson, quienes estaban trabajando con receptores de ondas centimétricas. Intrigados por una señal débil procedente de todas las direcciones, consultaron con el astrofísico Robert Dicke y sus colegas, quienes sugirieron que era radiación fósil del Big Bang. Por este descubrimiento, Penzias y Wilson recibieron el premio Nobel en 1978.



Penzias & Wilson

El horizonte del Universo
 Hoy podemos recrear la historia del Universo tras el Big Bang (ver p. 10). Muchas observaciones confirman este modelo cosmológico, y hemos explorado gran parte del Universo observable. No podemos observar más allá de una cierta distancia porque las señales que llegan a la Tierra no pueden viajar más rápido que la luz, cuya velocidad es de 299,792 km/s. Observar objetos lejanos es como regresar en el tiempo. Los fotones que recibimos de las galaxias primordiales fueron emitidos hace 12 mil a 13 mil millones de años: vemos esas galaxias tal y como eran en su juventud. Cuando observamos los fotones del fondo cósmico, estamos mirando 13,800 millones de años hacia atrás en el tiempo (ver página opuesta).

El Big Bang
 Si el Universo se está expandiendo, entonces al principio debía ser muy denso y caliente. El astrónomo Fred Hoyle no le gustaba este modelo cosmológico. Para burlarse, en un programa de la BBC en 1949 lo llamó el **Big Bang**. ¡Y ese es el nombre que permaneció!

Uno de los primeros argumentos en favor del Big Bang fue propuesto en 1948 por George Gamow y su estudiante Raif Alpher. Mostraron que solo con las condiciones extremas de densidad y temperatura del Big Bang pudieron formarse helio, deuterio y litio en las cantidades que observamos ahora en el Universo.

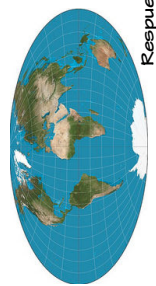
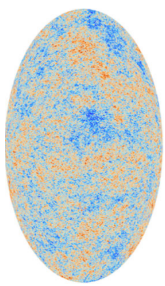


Fred Hoyle



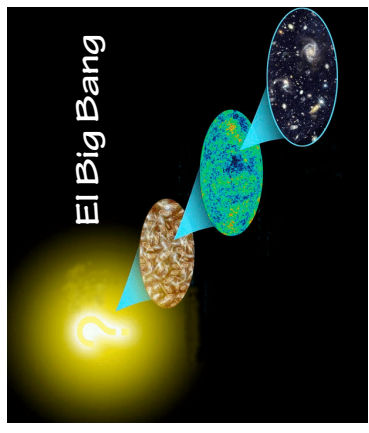
G. Gamow

Test
 ¿Cuál de estas imágenes muestra las fluctuaciones del fondo cósmico?



Respuestas al dorso

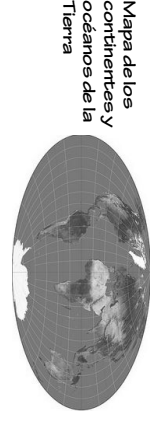
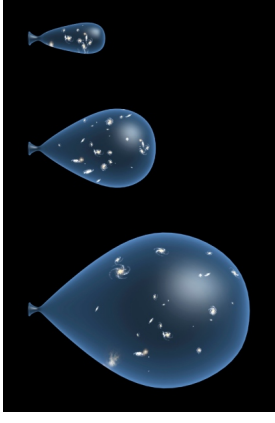
El Universo en mi bolsillo



Françoise Combes
 Observatorio de París

El Universo se parece un poco a la superficie de un globo en expansión sobre la cual se encuentran las galaxias. Cada observador en una galaxia dada tiene la impresión de que todas las otras galaxias se están alejando con una velocidad proporcional a su distancia. En 1915, Vesto Slipher descubrió que la mayoría de las nebulosas espirales tienen líneas espectrales corrientes al rojo, indicando que se están alejando de la Tierra*. Esta fue la primera evidencia - no reconocida como tal en el momento - de la expansión del Universo (ver página opuesta).

* Ver TUMIP 10. 2



Mapa de los continentes y océanos de la Tierra

Respuestas



Imagen óptica de la galaxia de Andrómeda M31



Fluctuaciones del fondo cósmico

Energía oscura

Antes suponíamos que la expansión se iba a desacelerar por la atracción gravitatoria de toda la materia del Universo.

Si la expansión se acelera, como pensamos ahora, debe haber otro componente ejerciendo una fuerza de repulsión. Este es el papel que tiene la constante cosmológica.

Este componente se llama **energía oscura**. Hace que todas las observaciones sean compatibles entre sí, como la curvatura y la edad del Universo (que no puede ser menor a la edad de las estrellas más viejas). Queda por descubrir la naturaleza de esta energía oscura. La historia del Universo como hoy la entendemos se describe en la p. 10 y su destino está esquematizado en la p. 8. 11

Traducción: Mónica Rodríguez TUMIP Creative Commons



Para saber más sobre esta serie y sobre los temas presentados en este librito, por favor visita <http://www.tumip.com>

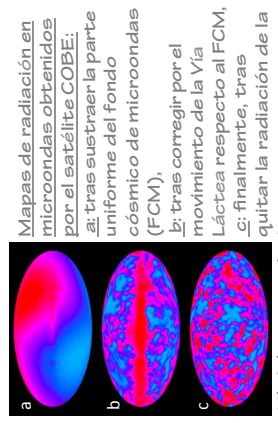


¿Cómo se formaron las galaxias? Hace un siglo ni siquiera sabíamos si había otras galaxias además de la nuestra, la Vía Láctea. En 1908, Henrietta Leavitt mostró que para las Cefeidas (estrellas con brillo variable), el intervalo de tiempo entre dos máximos seguidos está relacionado con su luminosidad. En 1925, cuando Edwin Hubble identificó Cefeidas en **nebulosas espirales**, pudo estimar sus distancias y probar que se encuentran afuera de la Vía Láctea. Las **nebulosas espirales** se llaman ahora **galaxias**.

En 1927, Georges Lemaitre entendió que la "huída" de las galaxias se debe a la expansión del espacio. En 1929, Hubble estableció la relación entre la distancia y velocidad de alejamiento de las galaxias. Esta relación crucial se llamó primero ley de Hubble, pero fue renombrada ley de Hubble-Lemaitre en 2018. 3

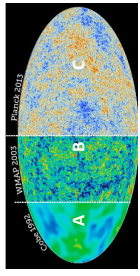
La expansión del Universo

¿Cómo se formaron las galaxias? Hace un siglo ni siquiera sabíamos si había otras galaxias además de la nuestra, la Vía Láctea. En 1908, Henrietta Leavitt mostró que para las Cefeidas (estrellas con brillo variable), el intervalo de tiempo entre dos máximos seguidos está relacionado con su luminosidad. En 1925, cuando Edwin Hubble identificó Cefeidas en **nebulosas espirales**, pudo estimar sus distancias y probar que se encuentran afuera de la Vía Láctea. Las **nebulosas espirales** se llaman ahora **galaxias**.

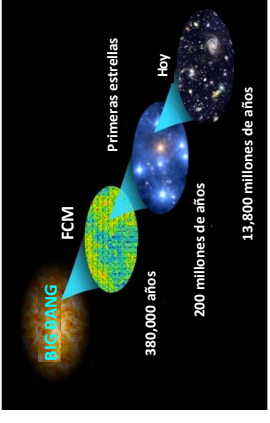


Mapas de radiación en microondas obtenidos por el satélite COBE: a: tras sustrair la parte uniforme del fondo cósmico de microondas (FCM). b: tras corregir por el movimiento de la Vía Láctea respecto al FCM, c: finalmente, tras quitar la radiación de la Vía Láctea y galaxias cercanas.

descubrimos las pequeñas fluctuaciones del FCM (en amplitud), las cuales muestran el estado del Universo durante la recombinación. El fondo difuso observado por COBE en 1992 (A), por WMAP en 2003 (B) y por el satélite Planck, lanzado por la NASA y la ESA en 2013 (C).



Cada misión revela más detalles.



Breve historia del Universo:

- Durante los primeros minutos: el Big Bang y la formación de partículas elementales y radiación.
- Tras 380,000 años, recombinación de protones y electrones en átomos de hidrógeno.
- Tras 200 millones de años, formación de las primeras estrellas en las primeras galaxias y re-ionización progresiva del Universo.
- Finalmente, hoy en día, transformación de las galaxias por fusiones de galaxias más pequeñas. 10

Fluctuaciones primordiales

La radiación fósil del Big Bang, enfriada a 3 grados Kelvin por la expansión, fue emitida cuando el Universo era denso y caliente, 380,000 años tras el Big Bang. El Universo estaba permeado de ondas que dejaron su huella en el fondo cósmico de microondas. Estas son las **fluctuaciones primordiales**, las semillas de las galaxias (ver página 6).

Cuando la temperatura del Universo bajó a 3000 K, los protones se combinaron con los electrones para formar átomos de hidrógeno. Los estudios estadísticos de las fluctuaciones muestran que el Universo contiene un 5% de bariones (la materia que conocemos), un 25% de **materia oscura** y un 70% de **energía oscura**. También indican que el Universo es geométricamente plano, y que han pasado 13,800 millones de años desde el Big Bang. 7