COSMOLOGÍA

>UNA RADIACIÓN, EN EL FONDO

EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA DEL PASADO AÑO 2006 FUE CONCEDIDO A LOS ESTADOUNIDENSES JOHN C. MATHER Y GEORGE F. SMOOT "POR SU DESCUBRIMIENTO DE LA FORMA BÁSICA DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS, ASÍ COMO SUS PEQUEÑAS VARIACIONES EN DISTINTAS DIRECCIONES". ¿A QUÉ SE REFIERE EL COMITÉ NOBEL CON ESA OSCURA FRASE? PUES, NI MÁS NI MENOS, QUE A LA HUELLA QUE DEJARON LAS SEMILLAS DE LAS GALAXIAS SOBRE LA RADIACIÓN RESIDUAL DEL BIG BANG. POSIBLEMENTE, EL DESCUBRIMIENTO DE ESTA RADIACIÓN DE FONDO, Y TODA LA INFORMACIÓN QUE NOS APORTA, HA SIDO EL PRINCIPAL DESCUBRIMIENTO ASTRONÓMICO DEL SIGLO XX, UNA PIEZA CLAVE DE LA COSMOLOGÍA ACTUAL. TEXTO **FERNANDO J. BALLESTEROS Y BARTOLO LUQUE**

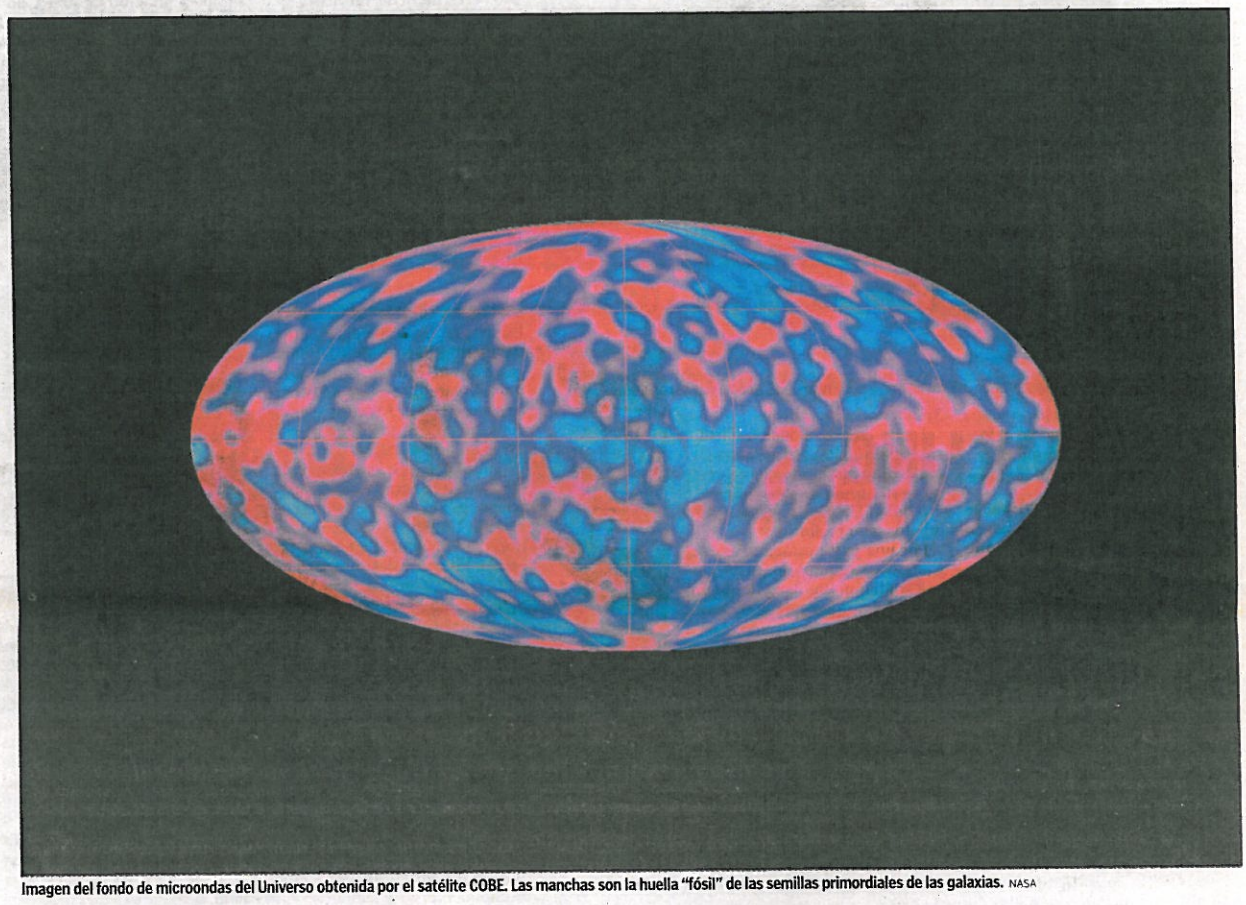


Imagen del fondo de microondas del Universo obtenida por el satélite COBE. Las manchas son la huella "fósil" de las semillas primordiales de las galaxias. NASA

> **REBOBINEMOS LA PELÍCULA** En 1924, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble descubrió que todas las galaxias se estaban alejando entre sí. De modo que, si pasábamos la película de nuestro Universo hacia atrás, nos encontraríamos un momento en el pasado en el que las galaxias debieron estar increíblemente juntas. Se intuía así algo sorprendente para la Ciencia de la época: hubo un Principio de los Tiempos.

El primero en intentar encajar este sorprendente comportamiento expansivo del Universo fue el astrónomo y sacerdote belga George Lemaitre, postulando en 1927 un modelo de "átomo primordial" donde estaría concentrada toda la masa del Universo, átomo que posteriormente explotaba generando la expansión que observamos actualmente. La separación de las galaxias sería resultado de aquella explosión primigenia que de hecho originaba el Universo.

MODELO ESTÁNDAR Hubo que esperar hasta 1948, para que el astrónomo rusoamericano George Gamov formalizara la idea y estableciera lo que hoy se conoce por Modelo Estándar. Su gran mérito consistió en trasladar la teoría desde el ámbito de la especulación al terreno de los cálculos matemáticos y las ciencias de la observación, y convertirla en un modelo físico capaz de realizar predicciones que se podían medir y contrastar.

MEJORANDO LA FOTO

La ESA tiene previsto lanzar este año el satélite Planck. Su objetivo: medir las fluctuaciones de la radiación de fondo aún con más precisión que sus predecesores COBE y WMAP. Planck será capaz también de medir la polarización de la radiación de fondo, lo que nos hablará de la etapa en que se formaron las estrellas y las galaxias y, tal vez, incluso permita medir la huella de las ondas gravitatorias generadas durante la inflación.

Satélite Planck. ESA

La idea original de Gamov era que todos los elementos químicos, todos los átomos del Universo, se formaron durante sus primeros minutos mediante reacciones de fusión. Pero pronto este supuesto tuvo que ser abandonado. Ralph Alpher, colaborador de Gamov, realizó el cálculo detallado de las reacciones, demostrando que el resultado era básicamente hidrógeno y helio. La existencia de los restantes elementos de la tabla periódica en nuestro Universo no podía justificarse por el modelo. Pese a este aparente fracaso inicial, la teoría predijo correctamente la proporción entre el hidrógeno y el helio que, en efecto, observamos en el Universo real (75% y 25% respectivamente). Los cálculos también apuntaban una gran abundancia de fotones de altísima energía que hoy día todavía deberían existir por todas partes, aunque debido a la expansión del Universo, a unas energías mucho menores. De hecho, tendrían que estar en la región de las microondas. El Modelo Estándar predecía la existencia de un fondo cósmico de microondas, un eco fósil del nacimiento del Universo en forma de radiación, que empapaba todo el espacio.

UNA HISTORIA SIN PRINCIPIO Por aquel entonces el modelo cosmológico en pugna con el de Gamov era el Estado Estacionario de Fred Hoyle. Hoyle no podía negar la existencia de la expansión del Universo, pero sentía una horrible repugnancia ante la idea de que el Universo tuviera un origen en el tiempo. De hecho, le parecía tan ridículo el modelo de Gamow que fue el propio Hoyle el que, como burla, acuñó el término despectivo de "Big Bang" ("Gran Petardazo") para referirse a él. Irónicamente este término se hizo tan popular que pasó a convertirse en la denominación oficial del Modelo Estándar de Gamow.

El modelo alternativo de Hoyle describía el Universo como un espacio en eterna expansión pero sin ningún inicio en el tiempo. Según el modelo del Estado Estacionario, a medida que el Universo se expande y se alejan las galaxias entre sí, en los huecos se forman, literalmente de la nada, átomos de hidrógeno a un ritmo increíblemente lento, aunque lo bastante rápido para poder formar galaxias con el transcurrir del tiempo. Es decir, el modelo del Estado Estacionario postulaba que la ley de conservación de la energía se violaba. Por supuesto, en cualquier modelo sin un principio de los tiempos, no existiría radiación residual alguna.

Ambos modelos estuvieron enconadamente enfrentados durante la época de los 50 y 60, convirtiéndose en centro del debate cosmológico hasta que, en 1964, los astrónomos Penzias y Wilson detectaron una radiación de fondo, justo en la región de microondas, que lo envuelve todo. El modelo del Estado Estacionario quedaba así descartado, mientras que el modelo del Big Bang se consolidaba como descripción del nacimiento del Universo.

DIMINUTO, DENSO Y CALIENTE En la actualidad sabemos que nuestro Universo tiene unos 13.700 millones de años. La radiación de fondo cósmico de microondas nos indica que su temperatura media es de unos 2,7 grados Kelvin, unos menos 270 grados centígrados. Esta radiación, esta temperatura "corporal" de nuestro Universo como un todo, es una prueba de enorme peso de que, en su inicio, nuestro Universo fue diminuto,

enormemente denso y caliente.

El fondo de microondas inunda todo nuestro espacio, hasta el extremo de que podemos detectarlo con el televisor de nuestras casas en un canal desintonizado: aproximadamente el 1% de los puntos blancos de la nieve de la pantalla corresponden al fondo cósmico. Este fondo de microondas, la observación directa más cercana que tenemos del Big Bang, es increíblemente uniforme. Tiene el mismo aspecto en todas direcciones y nos indica que la distribución de materia y radiación en el Universo primitivo era igualmente uniforme. Sin embargo, esta extrema uniformidad del Universo primigenio acarreaba un problema teórico: para que existieran las galaxias que observamos hoy día, debían haber en el pasado lejano zonas del Universo ligeramente más densas, sus semillas. Estas zonas ejercerían una atracción gravitatoria algo mayor que el resto, atrayendo poco a poco materia a sus cercanías. Conforme estas zonas adquirieran más masa, aumentaría su fuerza de atracción gravitatoria, atrayendo de nuevo más materia. Es decir, tales zonas más densas habrían sido las simientes para la posterior formación de las galaxias. Dado que las galaxias existen, esas zonas de mayor densidad tienen que haber existido, y sus huellas fósiles deberían poder detectarse todavía en la radiación primordial. Por tanto, se esperaba que hubiera "manchas" en el fondo cósmico de microondas. ¿Se podrían detectar?

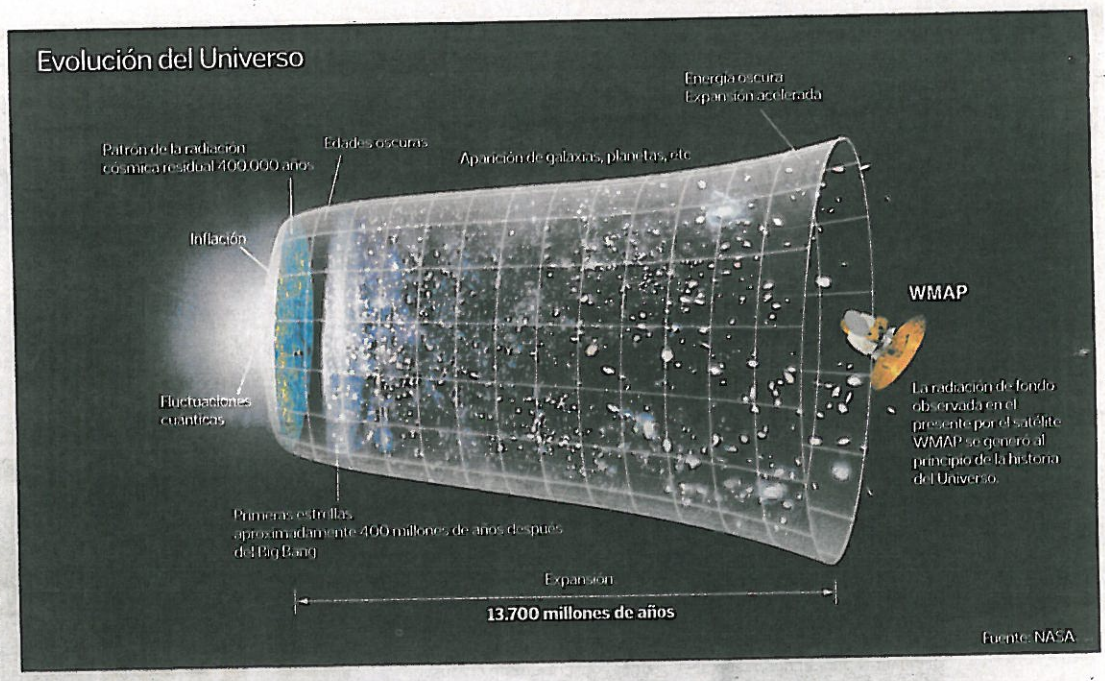
BUSCADORES DE SEMILLAS CÓSMICAS Para intentarlo, la NASA lanzó en 1989 el satélite COBE (COsmic Background Explorer). Al inicio no cumplió sus expectativas. El fondo de microondas es sorprendentemente uniforme en todas las direcciones y, las manchas, de existir, deberían ser muy tenues. La teoría predecía pequeñas variaciones en la radiación, de tan sólo una parte por cien mil en escalas angulares de 10º. Era necesario acumular gran cantidad de datos del fondo durante mucho tiempo para determinar un resultado definitivo. Conforme las señales se iban acumulando, la sensibilidad aumentaba y poco a poco comenzó a discernirse un patrón.

Por fin, el 23 de abril de 1992, dos años y medio después de su lanzamiento, el patrón detectado por el COBE, la forma básica del fondo cósmico de microondas, se mostró clara más allá de toda duda. Mather y Smoot, los premios Nobel de Física de 2006, investigadores principales de sendos instrumentos a bordo del COBE, lograron medir con una precisión sin precedentes el espectro y la anisotropía de la radiación de fondo: se habían encontrado manchas, las huellas de las semillas primordiales de las galaxias, y sus tamaños y distribución estaban de acuerdo con la predicción teórica.

En 2001 la NASA lanzó el satélite WMAP, cuyos datos mejoraron y volvieron a corroborar los del COBE. Así que se confirmaba que, gracias a las impresionantes medidas del COBE, el modelo de Big Bang recibía de nuevo un espaldarazo y quedaba firmemente consolidado. Valían un Nobel.

FERNANDO J. BALLESTEROS PERTENECE AL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA. **BARTOLO LUQUE** PERTENECE A LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AERONÁUTICOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

MÁS INFORMACIÓN
www.astronomia.net/cosmologia/
map.gsfc.nasa.gov/



LA INJUSTICIA DE LOS NOBEL

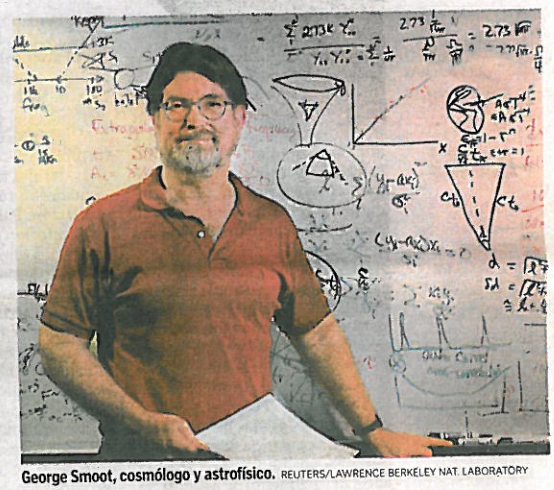
DOS DE TRES El premio Nobel de Física 2006 para John C. Mather y George Smoot es el segundo que se da en relación con la radiación cósmica de microondas. El anterior fue concedido por la detección originaria del fondo cósmico de microondas. Había tres grupos candidatos para recibirlo.

Por una parte estaban George Gamow y su equipo, los primeros en estudiar el Big Bang desde un prisma científico que predijeron la existencia de este fondo.

Dos décadas más tarde, otro equipo encabezado por Robert Dicke llegó a las mismas conclusiones de forma independiente, desconociendo el trabajo pionero de Gamov. Más aún, tuvieron fe en su trabajo e hicieron un intento serio para medir la radiación de fondo que también ellos predecían.

El tercer grupo candidato era el de Arno Penzias y Robert Wilson. Curiosamente cuando detectaron la radiación de fondo en la antena con la que trabajaban, creyeron que era alguna interferencia y gastaron buena parte de su tiempo tratando de eliminarla sin éxito. De esta forma tan peculiar, rayana en la casualidad, descubrieron una inexplicable señal de fondo que cambió de arriba abajo la Cosmología.

El estadounidense John C. Mather. EFE

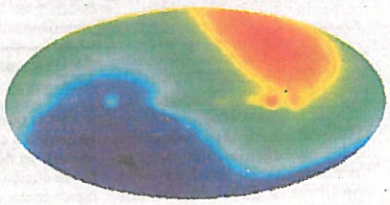

George Smoot, cosmólogo y astrofísico. REUTERS/LAWRENCE BERKELEY NAT. LABORATORY

¿Quiénes creen ustedes que fueron los agraciados? Pues el premio Nobel de 1987 fue para Arno Penzias y Robert Wilson. Un premio Nobel de pura serendipia.

Para rizar el rizo, hoy sabemos que Karl Jansky, en 1931, estudiando las perturbaciones de las líneas telefónicas, había descubierto también una "distorsión" procedente del espacio que se correspondía con el fondo cósmico, pero que en aquel momento no pudo especificar.

LA BÚSQUEDA DE UN PUNTO FIJO

SIN REFERENCIAS Los principios de relatividad, tanto de Galileo como de Einstein, nos dicen que no existe ningún sistema de referencia privilegiado en el Universo. En todo sistema de referencia, las leyes de la Física son iguales y no hay experimento que permita establecer un punto fijo de referencia en el Universo. Newton lo intentó, y pensó que el espacio era un marco de referencia inmóvil, un verdadero punto fijo respecto del cual se podrían hacer mediciones absolutas. Maxwell nos demostró que la luz era una onda electromagnética que se movía a casi 300.000 km/s. Pero, ¿respecto a qué? La respuesta obvia era que respecto a ese marco de referencia absoluto de Newton. Dado que la luz se comportaba como una onda, la Ciencia de finales del siglo XIX había llenado este espacio de referencia con una sustancia, el éter, que era lo que transportaba a las ondas electromagnéticas. Desgraciadamente, el experimento de Michelson y Morley de 1887 demostraba la inexistencia del éter y de ese marco de referencia. Más aún, el trabajo de Albert Einstein nos descubría que la luz se mueve a esa velocidad respecto a todo. Para que ello fuera posible, el espacio y el tiempo debían ser mutables y desaparecía el último vestigio de un punto fijo newtoniano.


El movimiento de la Tierra por el espacio hace que la radiación de fondo se haga más azul en la dirección hacia la que avanzamos y más rojiza en la otra. NASA/COBE/DMR

Mucho después, una vez descubierto que el Universo está en expansión y que existe una radiación residual de fondo que lo llenaba todo, se vio que, en cierto modo, uno podría definir una especie de marco de referencia local privilegiado: aquél que estuviera en "reposo" respecto a la propia expansión. Es decir, las galaxias se alejan entre sí porque el espacio, al expandirse, tira de ellas, pero localmente podrían tener además un movimiento propio respecto a ese arrastre pasivo. ¿Cómo saberlo? La respuesta está en la radiación de fondo.

Si la Tierra no está en reposo respecto a la expansión del Universo, debido al efecto Doppler, la frecuencia de la radiación de fondo será mayor en la dirección de avance y menor en la contraria. Es lo que se llama "dipolo". A partir de esa diferencia de velocidades es posible saber a qué velocidad se mueve el Sistema Solar por el espacio respecto a la expansión.

La respuesta es sorprendente: sabemos que la Tierra se mueve alrededor del Sol, el Sol alrededor de la Galaxia, y la Galaxia alrededor del Grupo Local de galaxias. Pero esa suma de velocidades no se corresponde con la que obtenemos a partir del dipolo. De hecho, ¡va en dirección contraria a la esperada! y es todo nuestro Grupo Local el que se está moviendo a 600 km/s respecto a la expansión del Universo.

Algo inmensamente masivo y desconocido está atrayendo nuestro grupo de galaxias: el Gran Atractor.