

EL UNIVERSO PRIMITIVO

Eduardo Battaner

Departamento de Física Teórica y del Cosmos
e Instituto Carlos I
Universidad de Granada

¿Cómo era el Universo primitivo? Para saberlo no tenemos más que observarlo. Pero, ¿cómo vamos a observar el pasado? A lo sumo podemos observar las huellas del pasado en el universo actual y con razonamientos teóricos apropiados, podríamos reconstruir lo que pasó entonces.

Pero no. Hemos dicho bien: podemos observar, directamente hoy, el universo pasado. Es esta una propiedad mágica que tenemos los astrofísicos: mirando lo que está muy lejos podemos observar lo que ocurrió hace mucho. Cuando observamos el Sol, observamos el Sol de hace 8 minutos, puesto que está a una distancia de 8 minutos-luz. Cuando decimos que la hora del comienzo de un eclipse es esta o aquella, deberíamos tener en cuenta que el Sol no está donde parece estar, sino donde estaba hace hace 8 minutos.

Y, debido a la velocidad finita de la luz, la luz de una estrella de nuestra propia galaxia, situada a 15 mil años-luz, nos llega con 15 mil años de retraso. Quizá ya no existe. En el Cosmos, antigüedad y distancia se enmarañan, se confunden en un único concepto. Los astrofísicos podemos ciertamente observar el pasado directamente, en el tiempo presente. O, si bien se mira, no podemos ver el presente; sólo podemos ver el pasado.

En realidad, no es esta una propiedad del astrofísico en exclusiva. Todos estamos condenados a observar el pasado sólomente. Este libro está a 30 cm de usted, lo que significa que usted observa este libro con 10^{-9} segundos de retraso. Poco tiempo es ese, prácticamente inapreciable, pero es posible que el libro se haya desintegrado cuando usted sigue leyéndolo. El retraso es mayor en el Cosmos donde los tiempos de demora se dilatan muchísimo, mucho más, en general, que la vida humana. El presente es inobservable.

Pero ¿qué entendemos por Universo primitivo?, ¿cómo de primitivo?, ¿a qué tiempo nos estamos remontando? O mejor aún, ¿qué es lo más antiguo que podemos observar?

Al astrofísico no le gusta hablar de lejanía de los astros ni del tiempo en

que su luz fue emitida. Prefiere utilizar, como medida de lejanía o de antigüedad, el llamado desplazamiento al rojo, z . La distancia y el tiempo son magnitudes que la curvatura del espacio-tiempo distorsiona. El desplazamiento al rojo es una magnitud que se determina objetivamente; es la diferencia entre la longitud de onda de una raya espectral medida en una galaxia menos esa longitud de onda observada en la Tierra, dividiendo por esta última para que se exprese en términos relativos. La ley de Hubble nos dice que z está relacionada con la distancia, pero esta relación es diferente según el tipo de universo en que vivamos. No sabemos en qué universo vivimos; y, por tanto, no sabemos bien traducir z en términos de distancia, a no ser que la galaxia observada esté muy cerca. La interpretación de z , en términos de distancia o tiempo de emisión, depende del modelo de universo que se elija o se prefiera.

La explicación más ingenua del desplazamiento al rojo de las galaxias es que ésta se debe al efecto Doppler. En ese caso, la famosa ley de Hubble de que z es proporcional a la distancia (ley sólo válida para galaxias muy próximas) se interpreta como que las galaxias se alejan más deprisa cuanto más lejos están. Sin embargo la Relatividad General nos enseña que este desplazamiento al rojo no se debe a un alejamiento real de las galaxias, sino a un estiramiento de la métrica.

Las galaxias normales que observamos con telescopios modestos están a un valor de z de menos de una centésima. Los cuásares más lejanos están a $z=1$ y algunos se han observado con z hasta 5. Hay quien dice que, aprovechando un efecto de lente gravitatoria, ha observado alguna galaxia a $z=10$ y con el Grantecán se espera observar galaxias a $z=11$. Pero estos grandes valores de z , correspondientes a las galaxias más alejadas, son difícilmente superables. Parece que nuestra observación del pasado tiene este límite. Poco más allá, seguramente las galaxias no existían, aún. Los telescopios son máquinas del tiempo.

Más allá de estos valores del desplazamiento al rojo ya no se ve nada. Corresponden a una época de oscuridad en la que el universo es prácticamente inobservable. Pero... cuando llegamos a $z=1000$, aproximadamente, otra vez se ilumina y su luz inunda nuestros detectores. Es la radiación de fondo de microondas: el llamado CMB, *Cosmic Microwave Background*, la radiación más antigua que, hoy por hoy, puede observar el hombre.

Esta radiación es un cuerpo negro casi perfecto. Pero es un cuerpo negro en el que nosotros estamos dentro, lo llena todo. Si estuviéramos en cualquier otro punto del espacio, veríamos prácticamente lo mismo. Al decir que es

un cuerpo negro queremos decir que es un sistema de fotones en equilibrio termodinámico. Y el equilibrio se caracteriza porque en él no hay direcciones privilegiadas. Cuando el CMB fue descubierto por los nobel Penzias y Wilson, encontraron su característica principal: su isotropía. En cualquier ángulo que se observara, siempre se veía lo mismo. Pero el cuerpo negro tiene otra propiedad que caracteriza su equilibrio: su espectro de frecuencias se ajusta perfectamente a la curva que explicó el gran científico Max Planck dando origen a la Mecánica Cuántica. El espectro del CMB se ajusta tan bien a la curva de Planck que no puede encontrarse en un laboratorio terrestre semejante precisión.

La temperatura de este cuerpo negro del CMB es de aproximadamente 2.7 grados Kelvin, unos 270 grados centígrados bajo cero. A estas bajas temperaturas, la emisión no puede verse con ojos humanos. Hay que emplear un radiotelescopio de ondas milimétricas, semejante al que hay en Sierra Nevada perteneciente al IRAM. Estas ondas son similares a las de un horno de microondas. Sin embargo, no es el telescopio de 30 m del IRAM lo más apropiado para observar el CMB, porque nos interesa observar todo el cielo, lo que se logra mejor con un telescopio instalado en un vehículo espacial, o con telescopios en tierra con mayor campo. Hemos de descontaminar además la radiación producida por nuestra propia galaxia, muy intensa en estas longitudes de onda

¿Perfecta isotropía? No tanto; Cuando se observa con una precisión de milésimas de grado, aparece una anisotropía llamada “dipolar”, que se debe al movimiento de nuestra tierra y nuestra galaxia con respecto al gigantesco sistema de referencia del fondo cósmico de microondas. Pero si descontamos este movimiento, volvemos a encontrar la isotropía. Entonces, ya, ¿observamos la perfecta isotropía? No tanto; Cuando se observa con precisiones mejores que una cienmilésima de grado, la bóveda celeste está llena de anisotropías de todos los tamaños angulares.

Estas anisotropías pueden clasificarse en dos grupos: las mayores de un grado y las menores de un grado. Esta división se debe a que aproximadamente un grado es el tamaño angular del horizonte relativista entonces. Aclaremos o recordemos que el horizonte relativista es aquella superficie esférica creciente en torno a un observador de forma que lo que está más allá del horizonte no puede verse aún, dada la finitud de la velocidad de la luz y del tiempo de vida del Universo. Lo que está más allá del horizonte está desconectado por una relación causa efecto, por lo que no tiene ninguna influencia sobre el observador.

De esta forma, no hay mecanismo físico que pueda conectar las diferentes

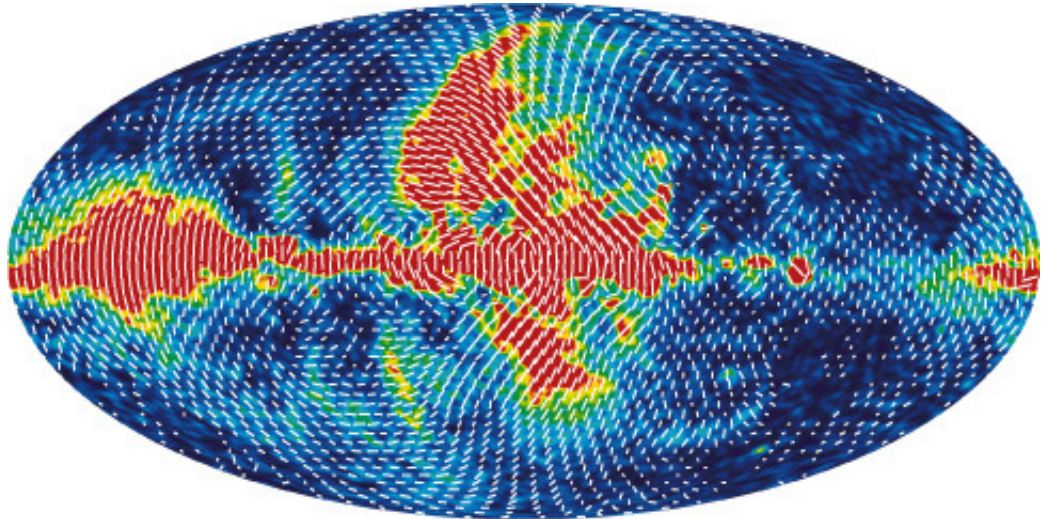
partes dentro de una anisotropía de tamaño superior al grado. A estas anisotropías se las llama Sachs-Wolfe. Si no hay mecanismo físico que las explique, tienen que ser reflejo de las condiciones iniciales del Universo, al menos, de un período muy primitivo denominado de Inflación, época también responsable de la homogeneidad y de la planitud del Universo. Es como observar casi el “principio”, no deformado por procesos físicos posteriores.

También son muy interesantes las anisotropías de menos de un grado pues son las progenitoras de las galaxias y de los cúmulos de galaxias y, por consiguiente, de la vida y de que estemos ahora preguntándonos por el CMB. Lo que cabía en el horizonte de entonces es lo que “andando el tiempo” se convertiría en el tamaño de un cúmulo de galaxias actual, semejante al de nuestro vecino Virgo.

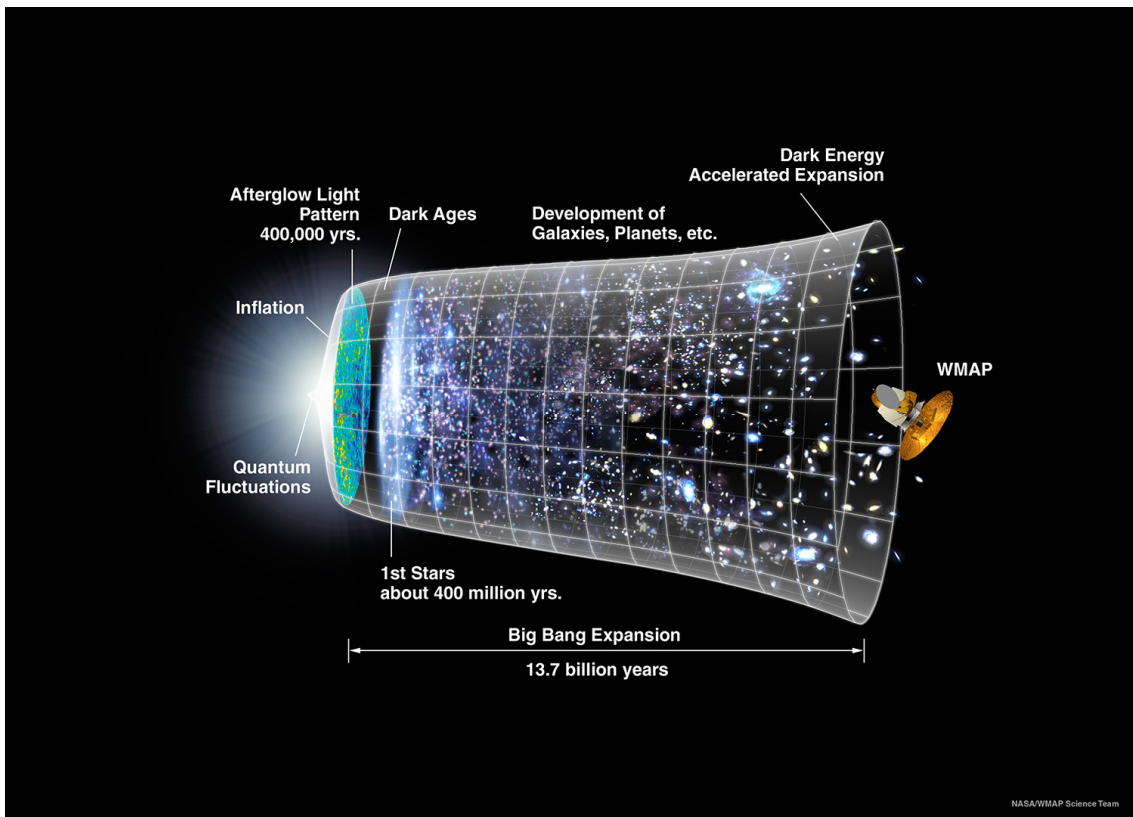
Los mapas del fondo cósmico de microondas obtenidos por las misiones espaciales COBE y WMAP son uno de los mayores logros de la ciencia de todos los tiempos. Nuestra concepción del Universo se ha esclarecido enormemente en los últimos años. Pero será mucho más completa tras el lanzamiento de PLANCK, con mucha más resolución angular, más canales de frecuencia y mayor sensibilidad, dotado además para analizar mucho mejor la polarización. Cuando esto escribo, PLANCK y HERSCHEL están ya preparados en la base de lanzamiento de la Guayana Francesa. PLANCK está dispuesto a ofrecernos, desde su excepcional punto de observación L4, una descripción sin precedentes del Universo bebé, cuando sólo tenía 380.000 años.

Será la gran cuenta atrás.

Para saber más, bien se puede recomendar la misma página de PLANK <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=planck> o también la de WMAP <http://map.gsfc.nasa.gov/>



1. Mapa de polarización obtenido por WMAP
2. Un esquema de la evolución del Universo



3. PLANCK

