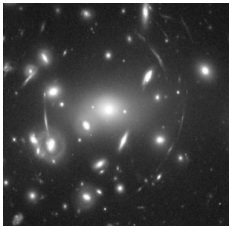


# La Huella del Universo

por Ángel Requena

*En este artículo haremos un recorrido por todos aquellos acontecimientos que precedieron al Big Bang, especialmente el momento en el que la materia y la energía se separaron para dar lugar al acontecimiento más trascendental de la historia del Universo. Analizaremos esa energía primigenia, denominada radiación de fondo cósmica, y veremos cómo los científicos consiguieron descubrirla. Estudiaremos también cómo esta radiación de fondo cósmica explica la formación de estrellas y galaxias, así como proporciona una prueba directa de la expansión del universo a partir de un estado denso y caliente al que los científicos denominan universo primitivo.*

## Introducción



El siglo que acabamos de dejar atrás ha sido en el campo de la cosmología el más activo y fructífero de todos los habidos hasta ahora.

No hace todavía ni un siglo que la ciencia suponía que el universo era estático y que su frontera estaba en los confines de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea.

El cambio de mentalidad vino de la mano de un científico genial llamado Albert Einstein que con su Teoría de la Relatividad puso patas arriba todos los estamentos científicos del momento. Apoyado en sus cálculos matemáticos y en su gran intuición estableció los fundamentos básicos de lo que después conoceríamos todos como Big Bang. Posteriormente Alexander Friedmann, matemático ruso, apoyó la intuición de Einstein con un nuevo modelo de universo que rompía con el modelo estático que hasta ese momento nadie discutía; nacía el universo en expansión.

En 1929, en medio de una turbulenta crisis económica, Edwin Hubble hizo un descubrimiento que confirmaba el modelo propuesto por Friedmann. Demostró que los tenues objetos celestes, hasta ese momento llamados *nebulosas*, eran exte-

riores a la Vía Láctea, en realidad se trataban de otras galaxias vecinas de parecidas características a la nuestra. Hubble además notó algo extraño en la luz que emitían, ya que observó que ésta estaba ligeramente desplazada hacia la parte más roja del espectro<sup>1</sup>, es decir, hacia longitudes más largas<sup>2</sup>.

Estos corrimientos implicaban que las galaxias, fuentes emisoras de luz, se alejaban a una gran velocidad de nosotros<sup>3</sup>. Además cuanto más lejanas se encontraban estas galaxias, más rápido huían. Era como si el universo se estuviera expandiendo y con él el propio espacio-tiempo<sup>4</sup>. Esta expansión generaba una gran cantidad de interrogantes para los científicos de la época. A saber, si todas las galaxias están alejándose de nosotros, ¿no es porque ocupamos un lugar central muy especial?. "No necesariamente", dicen los científicos.

Imaginemos el universo como un gran pastel de pasas que se está cociendo en un gran horno. Las pasas esparcidas en la pasta representan las galaxias, de tal forma que al hornear este pastel la pasta crece y con ella las pasas se separan. Esta "expansión" es uniforme, tranquila y no necesita un punto central a partir del cual crecer, toda la masa crece por igual y seamos la pasa que seamos veremos alejarse de nosotros el resto de pasas.

Naturalmente cuanto más alejadas estén dos pasas,

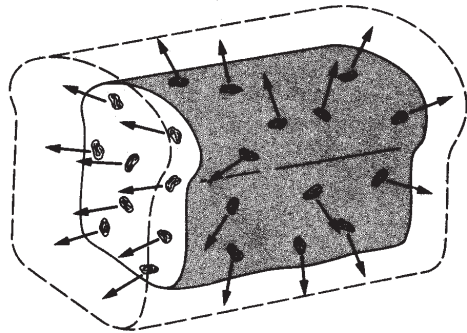


Fig. 1: Modelo de "PAN de PASAS" del UNIVERSO. (OBTENIDA DE RIORDAN&SCHRAMM; LAS SOMBRAS DE LA CREACIÓN (1994)

más rápido se separan ya que la cantidad de masa que las separa es mayor que si están más juntas<sup>5</sup>. (ver figura 1).

A grosso modo ésto es lo que ocurre en nuestro universo, sin embargo y a pesar de la regularidad de la expansión de Hubble, nuestro universo no siempre ha sido así. Hace aproximadamente 15.000 millones de años<sup>6</sup> una amalgama de espacio, tiempo, energía y materia se concentraba en un punto de densidad infinita conocido como *singularidad*. La teoría de creación comúnmente aceptada dice que toda esta amalgama o sopa primordial, como algunos científicos la califican, empezó a expandirse alocadamente en tamaño, como si se tratara de una gigantesca explosión. Los científicos bautizaron esta teoría con el sugerente nombre de Big Bang<sup>7</sup>.

Y, ¿cómo podemos explicar esta gran explosión?, ¿cuál fue el origen de esta sopa original compuesta de quarks, leptones y gluones<sup>8</sup>? Contestar de forma categórica a estas cuestiones no es científicamente posible ya que no disponemos de una experimentación que la corrobore. Sin embargo, la teoría que los científicos argumentan es la más ajustable en este rompecabezas llamado universo. A la pregunta de dónde vienen los niños, los mayores solemos decir, de París; a la misma cuestión pero refiriéndonos al universo los cientí-

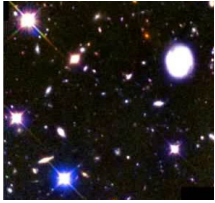
ficos responden, de la nada. ¿Cómo puede el Universo venir de la nada?. Los cúmulos, las galaxias, nosotros mismos somos materia y pensar que se ha creado a partir de la nada no nos cabe en la cabeza. Pero hemos de tener en cuenta que todo el universo es una expresión de la nada absoluta y su equivalencia, en términos energéticos es igual a la nada.

Una característica notable del universo de hoy en día es que si se suma toda la energía que hay en el universo el resultado da casi cero. Veamos, en primer lugar está la energía potencial de la atracción gravitatoria de las distintas galaxias y cúmulos galácticos entre sí. Ésta es proporcional a las masas de las galaxias, pero como debemos suministrar energía para mantener separadas las galaxias, ésto cuenta en el debe de nuestra contabilidad energética. En el haber, tenemos la energía de las masas de todas las partículas del universo. En ambos casos el resultado da un valor energético equiparable pero de signo opuesto, por lo que la energía total del universo sería cero. Como todos bien sabemos y de acuerdo al principio universal de la conservación de la energía, ésta ni se crea ni se destruye, se transforma. Por tanto podríamos aseverar que no se necesitaría ninguna energía para crear el universo.

Aún así, ¿cómo es posible que a partir de la nada se cree espontáneamente una "bola" de fuego compuesta de quarks, leptones y gluones, o sea, el big bang?. Bueno, ésta sí que es la pregunta del millón. Sabemos, o mejor dicho, hemos inducido a partir de una teoría bastante aceptada cómo es nuestro universo actualmente. Sabemos también cómo fue en sus primeros momentos de existencia pero no conocemos las leyes que rigen el "más allá".

Es posible que en el vacío, que es estable por naturaleza, se genere una cierta inestabilidad de

la misma forma que ocurre en los núcleos de los átomos, los cuales se pueden desintegrar espontáneamente en forma de una reacción tan energética como es la radioactividad. Del mismo modo puede existir una pequeña probabilidad cuántica de que el vacío se pueda convertir en un Big Bang<sup>9</sup>.



#### EL RESPLANDOR FÓSIL

Aunque la regularidad de la expansión del Universo nos induzca a pensar que el Universo es una balsa de aceite, la verdad es que eso no fue siempre así. Éste, de hecho, ha experimentado importantes cambios desde su alumbramiento hace unos 15.000 millones de años (ver figura 2).

Cuando el tiempo era aproximadamente de una diezmilésima de segundo<sup>10</sup>,

la temperatura de todo lo que en ese momento existía era de unos 100.000 millones de °C (temperatura muy superior a la de nuestro Sol, por ejemplo). En ese momento ninguno de los componentes básicos de la materia (átomos, moléculas, etc.) se podían formar ya que la agitación térmica existente impedía la unión de estos componentes. Sin embargo las partículas elementales (electrones, positrones y neutrinos) que responden a otras leyes de la física de altas energías, sí existían, separándose y uniéndose constantemente.

Al segundo de vida, la temperatura del universo había bajado a una décima parte, unos 10.000

millones de °C y la presión era a su vez de unos 10 Kg./cm.<sup>3</sup> (el agua tiene una densidad de 1 g./cm.<sup>3</sup>). En estas, todavía, condiciones infernales un balón de fútbol pesaba más que un transatlántico y quemaba miles de veces más que nuestro sol.

Pero fue a los pocos minutos cuando los neutrones de esa "sopita caliente" se combinaron con los protones para formar núcleos más pesados, como el helio por ejemplo, y los positrones o también llamados antielectrones, habían aniquilado a la mayoría de los electrones generando en este proceso fotones, es decir, luz. En este instante la temperatura había bajado varios cientos de millones

de grados aunque todavía era bastante más caliente que nuestro sol.

Tendríamos que esperar a los 300.000 años de edad para que nuestro universo experimentara un cambio importante. Nos encontramos en un

"mundo" cálido de aproximadamente 3.000°C y opaco, ya que los electrones libres absorbían prácticamente toda la radiación generada. Pero entonces ocurrió algo que cambiaría por completo ese escenario; los electrones esparcidos por el universo empezaron a ser capturados por los núcleos atómicos, mucho más pesados que éstos, y como consecuencia de ello se empezaron a formar gases ligeros tales como el hidrógeno y el helio<sup>11</sup>. Los fotones, por tanto, ya no eran aniquilados por los electrones que habían sido absorbidos por los núcleos y fue entonces cuando quedaron libres de su yugo, el Universo se hizo translúcido<sup>12</sup>.

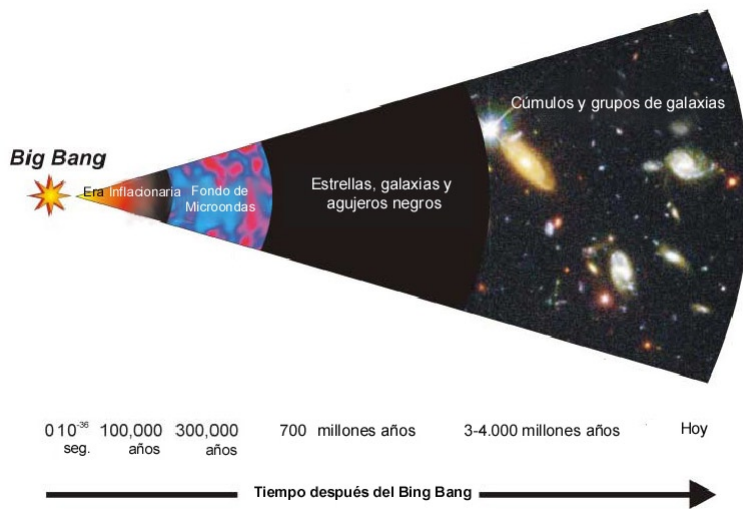


Fig. 2: EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO, DESDE SU NACIMIENTO HASTA HOY (OBTENIDA DE THE STRUCTURE AND EVOLUTION OF THE UNIVERSE SUBCOMMITTEE OF THE SPACE SCIENCE ADVISORY COMMITTEE NASA; COSMIC JOURNEYS. TO THE EDGE OF GRAVITY, SPACE AND TIME.)

Conforme la expansión de Hubble continuaba después de ese instante crucial, la materia empezó a ir creciendo como consecuencia de la fusión atómica. En ese ambiente enrarecido comenzó a dominar una fuerza que hasta ese momento no había desempeñado un importante papel en nuestro universo, nos estamos refiriendo a la atracción gravitacional. A los 1.000 millones de años de antigüedad, nuestro universo era ya un mundo menos hostil y fue en ese preciso instante cuando comenzaron a formarse las primeras estrellas y galaxias; nuestro Sol tendría aún que esperar unos 9.000 millones de años para su nacimiento.

El universo visible actual tiene una edad aproximada de 15.000 millones de años y su “temperatura ambiente” es de 3°K (aproximadamente unos -270°C)<sup>13</sup>. Su densidad ha bajado también a unos valores ínfimos con unos valores medios que oscilan alrededor de  $10^{-31}$  g./cm.<sup>3</sup>, una esfera del tamaño terrestre lleno de esta materia pesaría menos que un mosquito.

Por tanto podemos decir que el suceso más lejano que podemos observar es precisamente el resplandor de aquella primera radiación. Pero, ¿dónde está?, ¿por qué no lo podemos ver?. Si su temperatura era de 3.000°C, ¿por qué no nos abrasa?. Evidentemente, esta radiación sería letal si en vez de vivir en un universo en expansión viviéramos en uno estático. En este hipotético caso la “onda expansiva” nos habría carbonizado, suponiendo que el espacio por el que se transmitiese fuese el vacío. Pero en un universo en expansión, ese resplandor fósil nos ha llegado afectado del efecto Doppler, a partir del cual la longitud de onda de dicha radiación se ha alargado y consiguientemente ésta ha disminuido su energía. Lo que nos ha llegado por tanto es una radiación de microondas de muy baja energía y con una temperatura de aproximadamente 3°K, prácticamente imperceptible.

#### LA RADIACIÓN DE FONDO CÓSMICA



En 1948, los cosmólogos Robert Herman, Ralph Alpher y especialmente George Gamow, ya habían mencionado la posibilidad de que

existiera esta radiación fósil, confirmando a su vez la discutida teoría del Big Bang. Argumentaron que esa radiación debería tener un valor de entre 3° y 30° Kelvin. Naturalmente, casi nadie les hizo caso ya que eso hubiera justificado la hipótesis del Big Bang, que como ya hemos comentado anteriormente, no era de muy buen agrado entre la comunidad científica de la época.

Lo que no esperaban los científicos es que esta aseveración se iba a confirmar experimentalmente 17 años después. En 1965, dos científicos advenedizos, Arno Penzias y Robert Wilson, pidieron permiso a la compañía de telecomunicaciones Bell Telephone para poder utilizar una antena de bajo ruido<sup>14</sup> que se había construido en New Jersey (EE.UU.). Éstos pretendían medir, en la banda de las microondas, el ruido procedente de la galaxia en el plano perpendicular al plano principal de la misma; de esta forma se podría mejorar las comunicaciones espaciales. Cuando obtuvieron los datos, observaron que en éstos siempre aparecía un pequeño "ruido" de unos 3° Kelvin.

Éste ruido fue interpretado por Penzias y Wilson como un defecto de la antena por lo que no dudaron en paliarlo ya que sus medidas se veían perturbadas por este error. Por tanto se subieron a la antena y comprobaron que en el cuello de la bocina, una pareja de palomas habían instalado su “nidito de amor”. Naturalmente, las echaron de allí y no les quedó más remedio que limpiar los excrementos que habían dejado estos animales (ver figura 3). Cuando reanudaron sus mediciones les volvió a aparecer otra vez el ruido de 3° Kelvin. Volvieron a subir a la antena y los inquietó





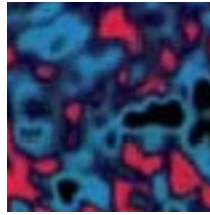
Fig.3: Limpiando la ANTENA DE EXCREMENTOS (Obtenida de LA PÁGINA DE INTERNET [www.bell-labs.com/project/feature/archives/cosmology](http://www.bell-labs.com/project/feature/archives/cosmology))

nos habían vuelto; las volvieron a echar. Pero los malditos 3° Kelvin seguían ahí, “si han vuelto otra vez nos las cargamos”, debieron pensar los científicos. Efectivamente, volvieron y las sacrificaron. Pero todo fue en vano ya que el ruido no desapareció y tuvieron que desistir ante el experimento. No obstante, comentaron los resultados con algunos colegas suyos por si alguno les podía ayudar (supongo que no comentarían nada sobre las palomas). De todos ellos Bernard Burke, astrónomo del MIT, les dijo que un tal Peebles había dado una conferencia en la que mencionaba la existencia de un rescoldo de la explosión primigenia. Este rescoldo se manifestaba en forma de una temperatura de unos 10° Kelvin.

Aunque no estaban muy seguros de que su descubrimiento tuviera algo que ver con ese hipotético rescoldo, se pusieron en contacto con él y le revelaron su descubrimiento. Efectivamente, habían descubierto sin saberlo el rescoldo fósil de la creación<sup>15</sup>. En 1978, Penzias y Wilson recibieron el premio Nobel por el descubrimiento, Peebles se tuvo que conformar con publicar en la *Astrophysical Journal Letters*, una posible inter-

pretación de los resultados obtenidos por Penzias y Wilson<sup>16</sup>.

### "Cosmosomas", las huellas del universo



Pero, ¿qué era este rescoldo?, ¿cómo se produjo esta radiación?, ¿qué significado físico tiene?. En el anterior apartado relativo al resplandor fósil ya anticipábamos un

poco qué era este suave resplandor y en él decíamos que la radiación cósmica de fondo que veíamos era la principal reliquia del momento en el que la materia escapó de la luz.

Efectivamente, cuando el universo tenía unos 300.000 años de edad sucedió un hecho crucial para el devenir posterior del universo. El plasma caliente de electrones libres y protones formado en la era de la nucleosíntesis<sup>17</sup>, comenzó a desquebrajarse. Los electrones cargados negativamente no tenían ya suficiente energía para permanecer libres y por tanto empezaron a unirse a los núcleos cargados positivamente. Como consecuencia de ello se empezó a formar los primeros átomos neutros de hidrógeno y helio. Una vez ligadas estas partículas ya no eran capaces de interaccionar con la radiación y por consiguiente los fotones quedaron libres de la materia pudiendo viajar a su antojo a través del tenue gas del universo primitivo.

La manifestación de esta radiación en forma de calor es la que ahora hemos conseguido descubrir y corresponde precisamente al momento en que materia y luz se desacoplaron. Pero, ¿por qué la percibimos a esa temperatura?. Ya hemos comentado que justo antes de que se produjera este desacople, el universo era un plasma caliente que irradiaba a una temperatura de unos 3.000° K. Esta radiación estaba además compuesta fundamentalmente por luz visible y ultravioleta, y al quedar libre de la materia viajaron por el

espacio hasta llegar a nuestros ojos. Pero como el espacio se ha expandido tremendamente desde entonces, las longitudes de onda de esta radiación se han estirado enormemente como consecuencia de la expansión y el mismo efecto Doppler que nombrábamos en páginas anteriores. Y no sólo eso, la temperatura también ha sufrido cambios y los iniciales  $3.000^{\circ}\text{K}$  se han convertido en los ya conocidos  $3^{\circ}\text{K}$  que Penzias y Wilson detectaran involuntariamente<sup>18</sup>.

Esta radiación de fondo cósmica (RFC, para abreviar) presentaba además dos propiedades. En primer lugar, ésta llena uniformemente el espacio, de hecho miremos a donde miremos la temperatura que obtenemos es prácticamente la misma. Ello implica una consecuencia inmediata, el universo era sumamente homogéneo a la edad de 300.000 años<sup>19</sup>. La segunda propiedad hace

referencia a su espectro, el cual se parece mucho al de un objeto en equilibrio a  $2,74^{\circ}\text{Kelvin}$  (unos  $270^{\circ}\text{C}$ ). En nuestro caso, ésto es cierto si la intensidad de la radiación aumentaba a medida que nos movíamos desde longitudes de onda de centímetros a milímetros, alcanzando un máximo alrededor de un milímetro y disminuyendo a continuación bruscamente para longitudes de onda más cortas<sup>20</sup>.

Y ésto fue lo que descubrió a mediados de los años setenta un grupo de la Universidad de Berkeley (California), dirigido por Paul Richards.

Utilizando globos sonda probaron que la intensidad de la radiación presenta un pico cerca del milímetro, como se esperaba de un cuerpo a una temperatura de unos  $3^{\circ}\text{Kelvin}$ . Medidas más recientes realizadas por el satélite COBE<sup>21</sup> han obtenido un valor más ajustado,  $2,735^{\circ}\text{Kelvin}$  (ver figura 4).

Pero lo más interesante que los investigadores han conseguido descubrir no ha sido sólo este hecho. Investigaciones recientes han obtenido una serie de *variaciones en la radiación de cósmica de fondo* que se traducen en diferencias de temperatura en direcciones distintas del cielo.

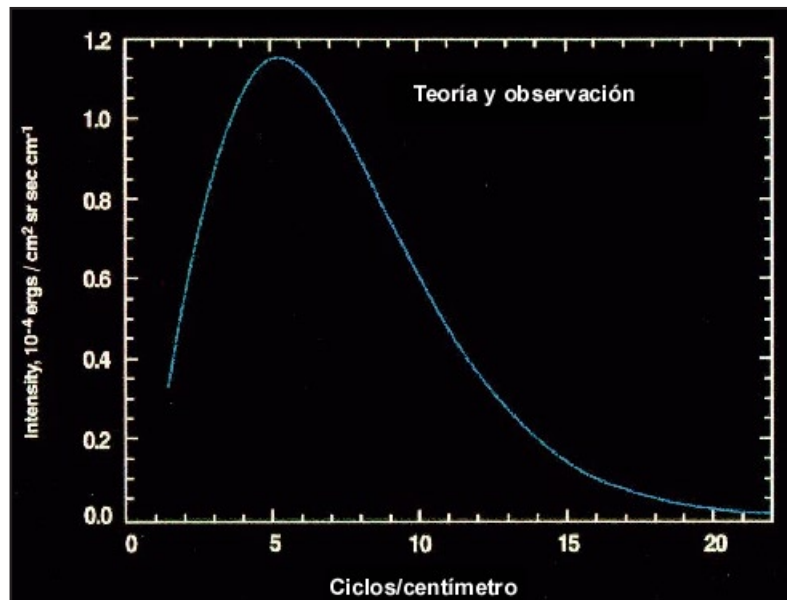


Fig. 4: ESPECTRO DE LA RADIACIÓN DEL FONDO DE MICROONDAS OBTENIDA POR EL COBE (SACADA DE LA PÁGINA DE INTERNET [WWW.GSFC.NASA.GOV/ASTRO/COBE/COBE\\_HOME.HTML](http://WWW.GSFC.NASA.GOV/ASTRO/COBE/COBE_HOME.HTML))

Estas variaciones de temperatura obedecen fundamentalmente al cambio de frecuencia de la radiación producido por: 1) la atracción que sufre un fotón al moverse en el campo gravitatorio creado por las protoestructuras que ya se comen-

zaban a generar, 2) la interacción de los fotones con los electrones libres, y 3) como no, por el movimiento relativo del fotón desde el lugar de donde proviene y el observador (efecto Doppler)<sup>22</sup>.

Para entenderlo mejor, se ha observado unas "huellas impresas" en la radiación de fondo, producidas por pequeñas variaciones en la densidad de la materia del Universo primitivo. Son las semillas que han generado el universo actual y son por tanto las portadoras de la "información genética" del mismo. Es por ello que algunos científicos las han bautizado con el nombre de "cosmosomas",

en analogía a los cromosomas humanos que como todos sabemos son los portadores de la información genética en la raza humana<sup>23</sup>.

Estas variaciones no son sencillas de descifrar, de hecho las primeras variaciones, obtenidas por aviones U2 y globos, respondían a una variación dipolar mediante la cual en una dirección la radiación de microondas estaba ligeramente desplazada hacia el rojo y en la dirección opuesta encontrábamos un desplazamiento igual pero de signo contrario, es decir, hacia el azul. Se comprobó que este desplazamiento se debía al movimiento mismo

El objetivo era por un lado obtener de forma detallada el *espectro de la RFC* y por otro lado y no menos importante, *buscar variaciones muy pequeñas entre medidas independientes de esta radiación hechas en direcciones distintas*. La dificultad estribaba en que estas inhomogeneidades, o también llamadas *anisotropías*, eran del orden de cien milésimas de grado en la temperatura del ruido de fondo cósmico (ver figura 5). La duda era, por tanto, si la resolución del COBE iba a ser suficiente para poder apreciar estas señales. Y lo cierto es que no era una tarea sencilla; al hacer

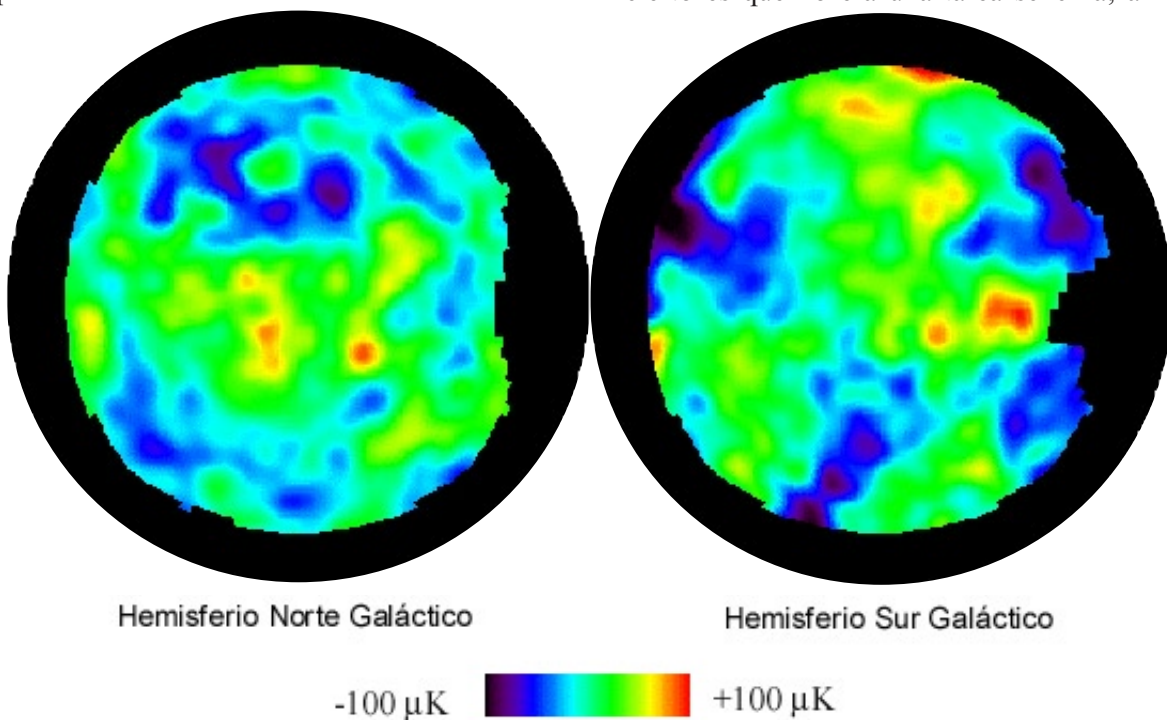


Fig. 5: MAPA DE ANISOTROPÍAS OBTENIDA POR EL COBE (SACADA DE LA PÁGINA DE INTERNET [WWW.GSFC.NASA.GOV/ASTRO/COBE/COBE\\_HOME.HTML](http://WWW.GSFC.NASA.GOV/ASTRO/COBE/COBE_HOME.HTML))

de la Tierra a través de la radiación cósmica de fondo<sup>24</sup> y no eran debidas a las inhomogeneidades de que hablábamos antes.

Pero no tendríamos que esperar mucho para detectar la huella del universo primitivo para aperturas angulares menores de 90°. A finales de los años 80, se lanzó al espacio un satélite, proyecto COBE, en cuyo interior se albergaba una serie de radiotelescopios robóticos, controlados desde la tierra, cuyo fin era el de escudriñar las zonas más alejadas del espacio profundo donde nadie hasta entonces había logrado mirar.

estas medidas los científicos tienen que ser extremadamente cuidadosos con los efectos espúreos<sup>25</sup> de la radiación de microondas. Así pues se tienen que filtrar las radiaciones procedentes de la propia Vía Láctea, así como la procedente de otras galaxias y cúmulos cercanos a la nuestra.

Sin embargo y a pesar de todos estos inconvenientes técnicos, George Smoot, profesor de la universidad de Berkeley (California), presentó en 1992 los resultados obtenidos tras analizar los datos tomados por el COBE. Smoot encontró la



primera evidencia clara de anisotropías para ángulos comprendidos entre 10 y 90 grados. “Son como “arrugas” en el resplandor de la explosión primitiva”, decía Smoot. Estas ondulaciones además de ser las estructuras más antiguas jamás vistas hasta ahora, eran las semillas primordiales de estructuras más modernas como eran las galaxias y los cúmulos de galaxias<sup>26</sup>.

Si ésto era cierto teníamos ante nosotros la explicación de uno de los mayores rompecabezas que habían tenido los científicos en los últimos años. Pero, ¿cómo era posible que una ondulación en la radiación diera lugar a una galaxia?. ¿Cómo evolucionaba esta pequeña fluctuación para dar lugar a estas grandes estructuras?. Éstas eran preguntas que hasta ese momento no tenían respuesta pero que a partir de este descubrimiento iban a encontrar una explicación bastante convincente.

Antes de abordar los distintos períodos de evolución que los científicos postularon, explicaremos mediante un símil cuál sería la génesis de una galaxia a partir de las anisotropías de la RFC. Supongamos que nuestra RFC es un inmenso mar azul y que las anisotropías o inhomogeneidades son las olas. Si miramos el mar desde una altura considerable vemos que éste es como un espejo de cristal, no vemos las inhomogeneidades. Pero si nos acercamos a la superficie del agua vemos sin embargo cómo las olas suben y bajan respecto a una posición de equilibrio que correspondería a la del mar en calma. Pero, ¿qué ocurre si el mar

está revuelto?. Pues que se generan olas de alturas considerables. En este caso y si no fuera por la gravedad, ésta se podría “desprender” formando una estructura independiente del mar de la cual proviene.

Algo similar es lo que ocurre en nuestro particular “mar de radiación cósmica”. Pero a diferencia de lo que ocurre con las olas, nuestras minúsculas ondulaciones sí vencen la “gravedad de este mar de materia” y pueden dar lugar a la formación de protoestructuras galácticas. En este caso las zonas más calientes del Universo, coloreadas en color rojo (ver figura 5), serían las olas, las

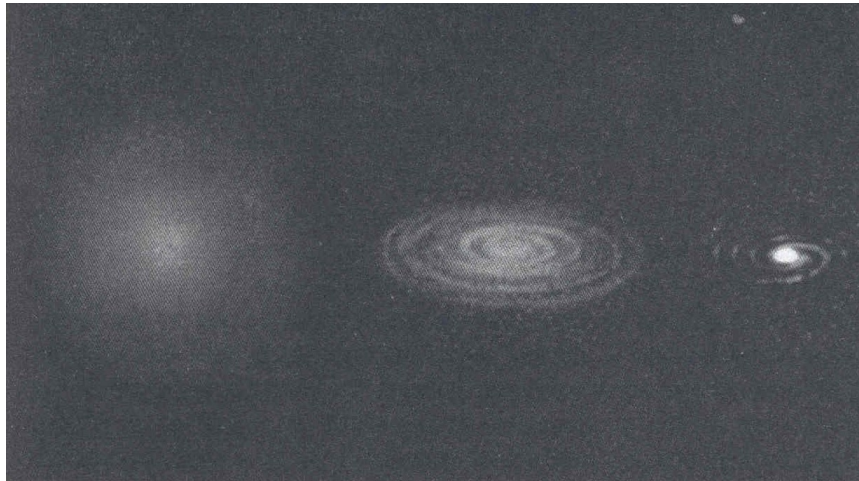


Fig. 6: FORMACIÓN DE UNA GALAXIA ESPIRAL A PARTIR DE UNA NUBE GASEOSA DE GRAN DENSIDAD. (OBTENIDA DE RIORDAN&SCHRAMM; LAS SOMBRAS DE LA CREACIÓN (1994))

cuales al contener una mayor energía cinética y consiguiendo una mayor concentración de masa-energía, dan lugar por el efecto de la gravedad, a la acumulación de

materia-energía en forma de galaxias, cúmulos de galaxias, etc<sup>27</sup>.

Existen sin embargo dos períodos distintos de evolución: un período inicial de crecimiento lento y “lineal”, al que le sigue un período de compresión rápida y “no lineal”. Durante el primer período, la gravedad mantiene la unión de la materia de una forma un tanto débil mientras que el resto de materia que le rodea va disminuyendo progresivamente su densidad conforme va creciendo la expansión del universo. Durante este período, el exceso de densidad de este agregado de materia crece en proporción inversa a la temperatura. Como ésta decrece inversamente a lo largo del tiempo, la densidad también crece por tanto en



esta proporción, de ahí que ésta sea “lineal”.

Por otra parte, cuando la densidad de las regiones vecinas disminuye aproximadamente a la mitad que en el interior del agregado, comienza a desencadenarse un tirón gravitacional importante en el interior de éste. Iniciado este proceso de contracción, el colapso gravitacional ya es inminente, creciendo la densidad del agregado de forma muy rápida, casi diríamos que se trata de un crecimiento exponencial (ver figura 6). Como consecuencia de estos dos períodos se forman todos los objetos celestes a los que ya estamos familiarizados: galaxias, estrellas y planetas.

Se tratan pues de objetos cuya densidad es 30 ó más órdenes de magnitud más densos que el promedio del universo y ocupan por tanto el escalón más alto en el proceso evolutivo de la materia<sup>28</sup>.

Ahora ya sabemos qué son las anisotropías y cómo influyen en la formación de macroestructuras cósmicas, así como permiten explicar la expansión del universo. Pero, ¿cuál es el origen de estas anisotropías o arrugas como las califica George Smoot?. ¿Cómo han sido creadas?. Decir que han sido creadas por la gracia de Dios no es un argumento suficientemente convincente, sin embargo la argumentación esgrimida por la comunidad científica no se aleja mucho de ese acto de fe.

Según los cosmólogos actuales cuando el Universo fue “creado” aparecieron cuatro elementos o “fuerzas” básicas: materia, radiación, espacio-tiempo y vacío (otras muchas culturas también creen que son cuatro la fuerzas básicas en la naturaleza: tierra, fuego, agua y aire). De todas ellas, el vacío o ausencia de todo menos fluctuaciones<sup>29</sup>, no está vacío del todo, valga la redundancia. Y eso es debido a que si intentáramos hacer desaparecer de un volumen de espacio todo lo que contiene (materia y/o radiaciones), no lo conseguiríamos nunca ya que tanto las radiaciones como la materia volverían a aparecer como consecuencia de las

oscilaciones que se producen de forma incontrolable en las inmediaciones.

El vacío, por tanto, siempre está lleno de, al menos, fluctuaciones de radiación que los científicos han denominado *fluctuaciones cuánticas*. De acuerdo a esta argumentación cuando se produjo el Big Bang y se creó el vacío también aparecieron estas fluctuaciones que fueron a su vez las que dieron origen a las arrugas espacio-temporales<sup>30</sup>. La importancia de estas fluctuaciones es vital para el posterior devenir del Universo. Son ellas las que determinan cómo van a ser las arrugas en el espacio-tiempo y por tanto son las que darán origen a la formación de galaxias, estrellas y planetas.

No es una exageración pues decir que “el descubrimiento de las arrugas es con mucho uno de los descubrimientos más importantes del último siglo ya que proporciona no sólo información sobre las estructuras cósmicas sino además sobre la creación y el origen del Universo”. Como resumió Smoot en la rueda de prensa donde confirmó el descubrimiento, “si usted es creyente, es algo así como ver a Dios”.

#### Notas y Bibliografía:

<sup>1</sup>Cada estrella emite un espectro característico de radiación electromagnética que alcanza su máximo en la parte visible del espectro. En el descubrimiento hecho por Hubble, éste midió las longitudes de onda de la radiación procedente de estas galaxias y descubrió que era casi siempre más larga que la misma radiación emitida en un laboratorio. La luz se había estirado como un muelle hacia longitudes de onda más largas o lo que es lo mismo hacia la parte más roja del espectro. De ahí el nombre de corrimiento hacia el rojo.

<sup>2</sup>M. Riordan, D. Schramm, *Las Sombras de la Creación* (Madrid, 1994).

<sup>3</sup>Para entender mejor este concepto utilizaremos el símil del tren que se acerca a una estación. Cuando estamos esperándolo en la estación y lo oímos acercarse gracias al sonido de su silbato, notamos que éste es sensiblemente más agudo que cuando se aleja de nosotros. La explicación de este hecho es debida al conocido fenómeno físico denominado *efecto*

*Doppler*. Efectivamente, cuando las ondas, en este caso sonoras, viajan hacia nosotros, éstas se contraen y por consiguiente las oímos en una longitud de onda más corta, que se traduce, sonoramente hablando, en un tono más agudo. Si por el contrario, las oímos cuando se alejan, se produce el efecto contrario al alargarse y por consiguiente las oímos más graves.

<sup>4</sup>K. Sawyer “Desvelando el Universo” *NATIONAL GEOGRAPHIC* 4 (1999).

<sup>5</sup>M. Riordan, D. Schramm, *Las Sombras de la Creación* (Madrid, 1994).

<sup>6</sup>La cifra que determina el comienzo del tiempo y del espacio está constantemente sujeta a cambios. El valor actual más acorde con las observaciones y con el modelo de Universo más satisfactorio ronda esos 15.000 millones de años.

<sup>7</sup>R. Penrose, *La nueva mente del emperador* (Barcelona, 1991).

<sup>8</sup>El universo en sus primeros instantes de vida estaba formado de estos elementos que constituían el ingrediente fundamental de la bola de fuego primordial. Posteriormente éstos se recombinaron entre sí para dar lugar a otros elementos más complejos. Algunos de estos elementos son muy comunes en nuestro mundo (hidrógeno, helio, litio, etc.). Sin embargo, los vestigios de estos primitivos elementos son hoy en día detectables y en cierto modo constituyen la reliquia fósil de aquellas primitivas condiciones.

<sup>9</sup>H. Pagels, *El código del Universo* (Madrid, 1990).

<sup>10</sup>Aproximadamente este es el tiempo más primitivo del cual podemos hablar con cierta certeza. Lo que pasó antes ya entra dentro del campo de la especulación y hasta que no dispongamos de argumentos más sólidos deberemos renunciar a cualquier pronunciamiento.

<sup>11</sup>El hidrógeno es un elemento ligero muy frecuente en nuestro universo formado por un electrón y un núcleo atómico cuyo peso atómico es 1. El Helio es el siguiente elemento más abundante en nuestro universo y está formado por dos electrones que orbitan en torno a un núcleo cuyo peso atómico es de 4, se trata pues del segundo elemento más ligero después del hidrógeno.

<sup>12</sup>L. Ruiz de Gopegui “El resplandor fósil de la creación” *UNIVERSO* 48 (1999).

<sup>13</sup>Recordemos que el cero absoluto o punto en el que la energía cinética de las moléculas es nula, tiene un valor de -273°C. Éste, representado también por la notación 0°Kelvin, hace honor a su descubridor Sir William Thomson (primer barón de Kelvin).

<sup>14</sup>En el espectro electromagnético el bajo ruido de una señal equivale a una gran sensibilidad de ésta.

<sup>15</sup>El hallazgo de este rescoldo, que a partir de este momento fue acuñado con la denominación de *radiación de fondo cósmica*, dio un espaldarazo definitivo a la teoría del Big Bang que hasta ese momento se encontraba en franca desventaja frente a la otra gran teoría del momento, la teoría del estado estacionario.

<sup>16</sup>L. Ruiz de Gopegui “El resplandor fósil de la creación” *UNIVERSO* 48 (1999).

<sup>17</sup>Esta denominación hace referencia a la fase en el que el universo estaba formado fundamentalmente por partículas subatómicas. Por tratarse de un tema relativamente complejo y que entra de lleno en el campo de la física de partículas, lo dejaremos para posteriores artículos más específicos.

<sup>18</sup>M. Riordan, D. Schramm, *Las Sombras de la Creación* (Madrid, 1994).

<sup>19</sup>En términos relativos, un universo de esa edad equivale en la vida de un ser humano a un bebé de apenas unas horas.

<sup>20</sup>J. Peebles, D. Schramm, E. Turner, R. Kron “*Evolución del Universo*” *Investigación y Ciencia* 219 (1994).

<sup>21</sup>Siglas pertenecientes al proyecto de investigación COsmic Background Explorer (Explorador del Fondo Cósmico).

<sup>22</sup>D. Sáez “El fons de microones, un text xifrat sobre la història de l’Univers” *MÈTODE* 21(1994).

<sup>23</sup>Gabinete de Dirección del IAC “Cosmosomas en la radiación de fondo” *IAC noticias* 2 (1993).

<sup>24</sup>Gracias a esta variación, los científicos dedujeron que nuestra galaxia se mueve a una velocidad de unos 600 Km./s. con respecto al universo. De hecho nos estamos precipitando de cabeza hacia dos supercúmulos vecinos, el de Virgo y el de Hidra-Centauro.

<sup>25</sup>Falso o adulterado, que degenera de su origen verdadero.

<sup>26</sup>L. Ruiz de Gopegui “El resplandor fósil de la creación” *UNIVERSO* 48 (1999).

<sup>27</sup>J. Pérez Mercader, *¿Qué sabemos del Universo?* (Madrid, 1996).

<sup>28</sup>M. Riordan, D. Schramm, *Las Sombras de la Creación* (Madrid, 1994).

<sup>29</sup>J. Pérez Mercader, *¿Qué sabemos del Universo?* (Madrid, 1996).

<sup>30</sup>L. Ruiz de Gopegui “El resplandor fósil de la creación” *UNIVERSO* 48 (1999).

\*Las afirmaciones entre comillas de la página anterior son extractos pertenecientes a una entrevista realizada a George F. Smoot por parte del boletín de *NOTICIAS del Instituto de Astrofísica de Canarias en 1993*.