

# La energía oscura y la edad del Universo

Antonio Rincón Córcoles  
Licenciado en Ciencias Físicas  
arcorcol@acta.es

*La luz es el primer animal visible de lo invisible*

José Lezama Lima

El 13 de febrero de 2003, los periódicos matutinos de medio mundo recogían en portada una noticia cuando menos impactante: según los últimos cálculos de la ciencia, el Universo tiene 13.700 millones de años de antigüedad. Hace apenas un par de siglos, un anuncio de esta magnitud habría removido hasta lo más profundo los principios por los que se regían las mentes ilustradas de entonces, provocando un cataclismo en las esferas del poder ideológico. Pero el *homo technologicus* actual, habituado a los grandes números y a las incesantes novedades que le presentan los científicos, se toma estos asuntos con más filosofía. Para muchos la noticia pasó desapercibida. Quienes repararon en ella acaso enarcaran las cejas un tanto estremecidos e hicieron un esfuerzo por anotar la cifra mentalmente. Mas tal vez, poco antes de olvidarla en el liviano viaje del cruasán hasta el café con leche del desayuno, desviarán la vista a la fotografía central donde, a todo color, dos notorios políticos discrepaban en público sobre la inminente ocupación de Irak.

No mucho mayor eco logró, meses después, la insistencia de los investigadores en turbar a sus conci-

dadanos con sus tribulaciones cósmicas. El 7 de enero de 2004 se supo que el Instituto de Física de los Estados Unidos había elegido el nuevo cálculo sobre la edad del Universo, deducido de los datos que durante doce meses había transmitido el observatorio espacial Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (más conocido por *WMAP*), como el hallazgo más trascendental del último año. Un influyente medio periodístico español resumía la información en páginas interiores: “Los resultados de *WMAP* indican que el Universo tiene una edad de unos 13.700 millones de años y que los primeros astros se formaron enseguida, unos 200 millones de años después del Big Bang. En cuanto a la composición del cosmos, los científicos estiman que el 4% es materia ordinaria, el 23% materia oscura y el 73% energía oscura”.<sup>1</sup> La inmensa mayoría del país, por no decir del planeta, respondió al anuncio con una indiferencia casi tan fría como la radiación cósmica de fondo a la que se aludía también en el artículo.

Este relativo desinterés, derivado no pocas veces de la sobreabundancia de información en que vivimos, es también altamente revelador del profundo cambio intelectual que ha experimentado la humanidad, o al menos la civilización de occidente, en las últimas centurias. Hoy tratamos con naturalidad de lo inmenso y lo

<sup>1</sup> El País, *Futuro*, miércoles 7 de enero de 2004.

ínfimo, de las dimensiones inimaginables de los átomos y de los empeños titánicos por medir la infinitud del tiempo y del espacio. Y aún, desde lo fútil de nuestra escala humana, oír de los geólogos que los primeros mares surgieron en la Tierra hace 4.400 millones de años nos mueve al vértigo y a la incredulidad, cuando no a un rápido y fugaz encogerse de hombros.

No sucedía así en la Europa de los inicios del siglo XVII. Entonces, las varas de medir no eran relojes atómicos ni convulsiones catastróficas en un cosmos lejano. La medida era, simplemente, la Biblia. James Ussher, un prelado de la Iglesia Anglicana célebre por su extensa erudición, estableció un método para datar los hechos del Antiguo Testamento con una precisión “infalible”. Con toda la solemnidad que acreditaban sus profundos estudios, llegó a afirmar en sus *Anales del mundo deducidos desde el origen del tiempo* que nuestro planeta había sido creado la tarde del sábado 23 de octubre del año 4004 a.C. “justo antes del anochecer”. Grandemente ensalzado, el trabajo de Ussher fue apenas rebatido en sus detalles menores por unos cuantos eruditos de su tiempo, pero tan solo porque discrepaban en varias de las estimaciones extraídas de los versículos del Génesis. Naturalistas y geólogos, ya intuyendo la honda antigüedad de algunos fósiles, no osaban todavía retar la opinión de aquellos “sabios”, a riesgo de ser acusados de herejes.

Pero en las décadas siguientes descubrimientos de toda índole se sucedieron con precipitación. Tal es así que en unos pocos siglos, los que separan los recuentos de Ussher de los 13.700 millones de años vislumbrados por la sonda espacial WMAP, se escribieron las líneas de una crónica memorable. De una historia repleta de tachones y aciertos, deslumbramiento y petulancia, vigor y determinación. De una aventura extrema que llevaría al cabo desde el oscurantismo religioso a la “energía oscura” de la cosmología moderna, esa enigmática esencia interior del Universo oculta tras un velo tan denso que la ciencia hasta hoy no ha podido rasgarlo.

## UN APUNTE HISTÓRICO

En las primeras líneas de su magnífico libro *Los tres primeros minutos del Universo*, el estadounidense Steven Weinberg, Premio Nobel de física en 1979, rememora con un toque de humor respetuoso el mito escandinavo de la creación: “En el origen no había Tierra, ni Cielo por encima de ella; había un gran Abismo, y en ninguna parte había hierba. Al norte y al sur de esa nada había regiones de hielo y fuego. El calor de éste fundió parte del hielo, y de las gotas del líquido surgió un gigante, Ymer. ¿Qué comía Ymer? Al parecer, había también una vaca, Audhumla. ¿Y qué comía ésta? Pues bien, había asimismo un poco de sal. Y así sucesivamente”.<sup>2</sup>

Relatos semejantes abundan en los textos sagrados de la mayoría de las culturas antiguas, desde la Biblia al *Enuma elish* mesopotámico, del *Popol Vuh* de los mayas a los *Textos de las Pirámides* egipcios, del *Rigveda* hindú a la *Teogonía* del griego Hesíodo. En ellos se describe, en un modo poético y un tanto descabellado, cómo surgió el Universo, cómo se desgajó la luz de las tinieblas, cómo fueron creadas las rocas y las montañas, los mares y los ríos, las plantas y los animales. Cómo, en definitiva, nació la humanidad.

Aunque al rigor de los conocimientos científicos actuales estas interpretaciones resultan de todo punto inservibles, durante generaciones cumplieron bien con su cometido: remitir al hombre, a menudo desde un impulso religioso que pudiera dar sentido a su existencia, hasta el instante mismo en que comenzó el mundo. Un estímulo similar, secularizado, alienta en la cosmología actual, disciplina científica que estudia el Universo en su conjunto y que no pretende sino dar una respuesta coherente a las preguntas primordiales que se viene planteando la especie humana desde su pasado más remoto.

Sin embargo, nadie en la antigüedad sospechaba un cosmos tan inmenso y complejo como el que hoy imaginamos. En distintos momentos de la historia se debatió sobre si el Sol o la Tierra ocupaban el lugar central del Universo, mientras los sucesivos modelos de las esferas cristalinas de Pitágoras<sup>3</sup>, del geocentrismo de Aristóteles y

<sup>2</sup> Steven Weinberg, *Los tres primeros minutos del Universo*, Alianza Editorial (1983), según relato compilado en los *Edda* islandeses del siglo XIII.

<sup>3</sup> El filósofo griego Pitágoras de Samos imaginó un cosmos armónico y perfecto: vio el Universo como una esfera perfecta donde los astros se movían describiendo círculos con la Tierra en su centro. Pensó también que el Sol, la Luna y los planetas emitían al moverse sonidos que se corresponderían exactamente con los de las notas musicales. Así, del movimiento de la esfera cósmica emanaría una música de armonía universal.

Claudio Tolomeo o del heliocentrismo que concibieron Copérnico, Galileo y Newton se iban derrumbando, demolidos por sucesivos adelantos de la observación científica. Hasta el mismo Einstein, genial artífice de una de las más espectaculares de estas demoliciones, se empeñó en creer en un Universo estático, inamovible en su globalidad, y forzó sus propias ecuaciones sobre relatividad y gravitación para adaptar los resultados, que le desagradaban, a unas intuiciones filosóficas que poco más tarde se demostraron equivocadas.

Fue ya cumplido el primer cuarto del siglo xx cuando empezó a configurarse un cambio sustancial en la visión científica sobre la estructura del cosmos. Los astrónomos sabían que la estrella más próxima a la Tierra, excluido el Sol, se encuentra a billones de kilómetros de distancia y que la inmensa mayoría de los astros visibles del firmamento pertenecen a una galaxia, un “universo-isla” como dio en llamarle Kant, a la que conocían por Vía Láctea. También vislumbraban algunas manchas difusas en el cielo, “nebulosas” como Andrómeda, que los más osados interpretaban tentativamente como galaxias lejanas, comparables en tamaño a la propia Vía Láctea.



Figura 1. Durante mucho tiempo el hombre se creyó el centro del Universo. Tal fue la idea de Aristóteles, refinada más tarde por el astrónomo y geógrafo Claudio Tolomeo, que vivió en Alejandria entre los años 127 y 145 d.C. En la imagen, reproducción del sistema geocéntrico de Tolomeo según se publicó en la *Cosmographia* (1524) de Pedro Apiano.

En este marco, a finales de la década de 1920 se produjo un descubrimiento espectacular de la mano del estadounidense Edwin Hubble. Este astrónomo analizó detenidamente la luz recibida de 46 de esas “nebulosas” y constató que, efectivamente, eran galaxias exteriores a la Vía Láctea. Pero obtuvo además otro resultado sorprendente. Aplicando las leyes de un fenómeno físico conocido como “efecto Doppler” (la luz emitida por un objeto que se aleja se vuelve más roja, de igual manera que el sonido de la sirena de una ambulancia o el pitido de un tren se hacen más graves al apartarse de nosotros a toda velocidad) llegó a una conclusión revolucionaria: todas las galaxias se están separando unas de otras. Sólo había una explicación razonable para este fenómeno: el Universo se está expandiendo “como la superficie de un globo que se hincha”. Aquel fue el principio de la cosmología contemporánea.

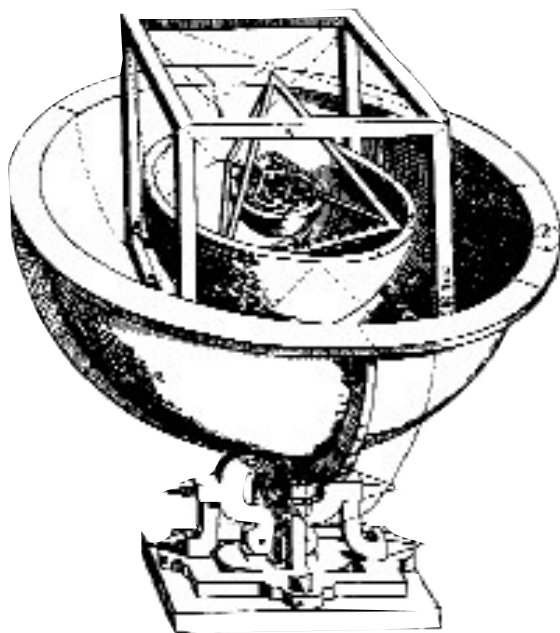


Figura 2. A lo largo de la historia, el Universo se ha mirado sobre todo con los “ojos de la mente”. Hasta Johannes Kepler (1571-1630), autor de la primera descripción matemática convincente del Sistema Solar con el Sol en su centro, sucumbió a la tentación de guiarse por un ideal de armonía absoluta. Aficionado a la numerología y de profundas convicciones religiosas, creyó haber descubierto el “secreto del Creador” cuando encontró que los radios de las órbitas de los planetas que él conoció (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno) guardaban una relación numérica con los cinco “sólidos perfectos” de las matemáticas: cubo, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro. En la imagen, representación de su sistema, con el cubo exterior representando simbólicamente a la órbita de Saturno y el tetraedro a la de Júpiter. El descubrimiento de Urano en 1781 vino a arruinar su seductora interpretación.

## DOS MODELOS COSMOLÓGICOS

En cuestiones de cosmología, el científico de hoy ha de ser comedido. Debe tomar conciencia de que camina por un terreno movedizo y altamente especulativo, de que sus modelos y elucubraciones se sustentan en datos enormemente fragmentarios, de que las enseñanzas del pasado le recuerdan que toda teoría es correcta... hasta que se demuestra lo contrario.

Sabe además que su existencia es cruelmente efímera ante el objeto de su estudio. Dando por válidos los supuestos cronológicos vigentes y estableciendo una sencilla analogía, si desde que se creó el Universo hubiera transcurrido un día, la especie humana llevaría sólo quince segundos sobre la faz terrestre. Es más, abundando en esta comparación, las primeras civilizaciones habrían surgido en Mesopotamia hace apenas siete centésimas de segundo.

Por otra parte, los avances en astronomía permiten hoy concebir el Universo desde un ángulo totalmente nuevo. La Tierra no es su centro, según se creyó en tiempos, sino una bola acuosa e insignificante que viaja a toda velocidad por los abismos cósmicos, inmersa en un sistema planetario como tantos otros que, ubicado en las afueras de la Vía Láctea, ni siquiera ocupa una posición de privilegio.

Ante esta perspectiva, parece pretencioso lanzarse a descifrar los enigmas de un espacio y un pasado que resultan tan atrozmente esquivos. Y sin embargo, desde el suspiro cósmico que es su vida y desde una atalaya tan prosaica, la humanidad ha querido poblar de ojos tecnológicos este planeta azul para mirar al cielo, escuchar sus señales e interrogarse acerca de su significado.

La distancia que separa la enormidad de la tarea emprendida y la escasez de datos y medios disponibles no ha disuadido a los científicos de proponer una idea coherente, necesariamente provisional, sobre el principio, el presente y el destino del cosmos. Como ya se ha apuntado, en la década de 1930 la comunidad científica se había convencido de que el Universo es un ente dinámico que atraviesa por una fase de expansión. Así se desprendía de las observaciones de Hubble sobre galaxias y también, a pesar de los prejuicios iniciales de

su autor en contra de la idea, de la teoría de la relatividad general propuesta por Einstein doce años antes. Pero esta conclusión no hizo sino abocar a nuevas preguntas. ¿Habría sucedido siempre así? ¿Seguiría el Universo expandiéndose en el futuro? ¿Llegaría un momento en que empezaría a contraerse? ¿Tuvo el Universo un principio, y tendrá un final?

Orillando las consideraciones metafísicas, se propusieron entonces, en un clima de gran excitación intelectual, varias teorías científicas. Dos de ellas perduraron como las más sólidas y razonables. La primera, expuesta en torno a 1931, veía la expansión universal como el resultado de una gran explosión primigenia a partir de un estado (un "superátomo") muy denso y minúsculo. Toda la materia-energía<sup>4</sup> que existe se habría creado en aquel momento primordial, y lo que ahora vemos no serían sino sus restos dispersándose. La segunda, defendida desde 1948 por el británico Fred Hoyle, entre otros<sup>5</sup>, se rebelaba contra la idea de un "origen del tiempo". Conocida como teoría del Universo estacionario, sostenía que la materia se crea continuamente en el Universo, condensándose en las galaxias, con lo que en conjunto el cosmos siempre mostraría el mismo aspecto visto desde cualquier lugar y en cualquier instante del tiempo.

Curiosamente fue Hoyle quien bautizó a la teoría de la explosión primigenia, que él no apoyaba, con el nombre de *big bang* (literalmente, "gran bang"), pretendiéndola ridiculizar. Pero lo que quiso ser un ataque en clave de humor se convirtió en un arma propagandística en manos de sus adversarios y en un acierto verbal que honra, con todo, el talento del británico. Durante más de una década, ambas hipótesis convivieron en un plano de igualdad, con sus defensores y detractores, sin que ninguna despuntara con respecto a la otra, dada la ausencia de una comprobación observacional. Ésta llegó, finalmente, en 1965 gracias a un trabajo de los estadounidenses Arno Penzias y Robert Wilson.

La teoría del *big bang* había predicho que, como vestigio de la explosión primordial, tenía que quedar en el Universo una "radiación cósmica de fondo" que delatará aquel pasado. El razonamiento, debido a George Gamow y otros científicos, era cuando menos brillante: en los primeros momentos de su expansión,

<sup>4</sup> Desde la famosa ecuación de Einstein,  $E = mc^2$ , sabemos que materia y energía son conceptos equivalentes que pueden intercambiarse en determinadas condiciones. Las bombas atómicas son una triste prueba de ello.

<sup>5</sup> Hermann Bondi y Thomas Gold, principalmente, le acompañaron en esta conjetura.

el Universo primitivo debió ser una bola de fuego enormemente caliente (de miles de millones de grados) y llena de radiación; después, al expandirse, el “eco” de aquella radiación habría perdurado mientras iba perdiendo casi toda su energía, enfriándose hasta alcanzar, según los cálculos, una temperatura próxima a los 270 °C negativos (es decir, unos 3 grados sobre el cero absoluto). Si tal fuera cierto, todo el Universo debía estar bañado en los restos “fósiles” de la radiación cósmica de fondo, uniforme y ya tan fría que sólo sería perceptible muy débilmente en el ámbito de las microondas (ondas de radio de muy baja frecuencia). Mientras varios equipos de astrofísicos la buscaban con denuedo, Penzias y Wilson la descubrieron casi por casualidad cuando trabajaban en un experimento con radares en los Laboratorios Bell de Murray Hill, Nueva Jersey. Ambos fueron galardonados con el Premio Nobel de física de 1978. La teoría del *big bang* recibió así un espaldarazo decisivo, mientras la hipótesis del Universo estacionario quedó guardada en el cajón de los brillantes modelos científicos que la realidad se niega a convalidar.

## BIG BANG

Mucho se ha escrito en los últimos decenios sobre la teoría del *big bang*. Hoy, incluso, se expone vagamente en los cursos escolares y un segmento amplio de la sociedad ha oído, cuando menos, hablar algo de ella. Lo primero que ha de decirse es que se trata, efectivamente, de una teoría: el fenómeno que propone es irreproducible para los científicos, y el único laboratorio en el que puede observarse es el propio Universo. Lo segundo, que es la mejor hipótesis de que se dispone hasta el momento para explicar el origen y la evolución del cosmos. La avalan varias pruebas poderosas, la más resonante de las cuales fue la detección de la radiación cósmica de fondo en 1965, y sobre ella se ha construido un esquema coherente que permite avanzar en la investigación. Sin embargo, la del *big bang* es una teoría necesariamente tentativa, plagada de som-

bras y puntos no explicados, enormemente incompleta e incapaz de explicar de una forma veraz, por el momento, en qué consiste el 96% del Universo que ella misma propone.

Antes de seguir adelante, conviene resumir a grandes rasgos la esencia de este modelo físico. Como cualquier otro de su categoría, se basa en una serie de principios fundamentales que no es posible demostrar, una suerte de “verdades absolutas” que se establecen por consenso y que se postulan en los denominados paradigmas de la ciencia<sup>6</sup>. El más notorio paradigma de la física actual defiende la constancia e insuperabilidad de la velocidad de la luz. Según estableciera Einstein en su teoría de la relatividad, la luz viaja en el vacío a una velocidad constante de unos 300.000 kilómetros por segundo y ningún otro ente físico puede hacerlo más deprisa<sup>7</sup>. En una ciencia como la astronomía, cuya materia de estudio es básicamente la “luz” que llega desde los cielos (entendida en su sentido amplio, como radiación electromagnética visible o invisible), esta apreciación es esencial. Viene a decir que, dadas las enormes distancias que existen en el Universo, la luz no viaja por él de forma instantánea (tal como, engañosamente, nos parece en nuestro mundo cotidiano), sino que llega siempre con un retraso.

Ello significa, por ejemplo, que si en este mismo instante se produjera en la superficie del Sol una eyección súbita de radiación (algo habitual) no se detectaría en la Tierra hasta dentro de unos ocho minutos<sup>8</sup>, que la imagen de la estrella más cercana (Alfa Centauro) corresponde a una “fotografía” de hace algo más de cuatro años o que la brillante supernova que observaron los científicos en 1987 en la galaxia de la Gran Nube de Magallanes no era sino el bello canto del cisne de una estrella moribunda que estalló en realidad hace unos 200.000 años, mucho antes de que aparecieran los primeros neandertales.

Este panorama tiene una consecuencia importante para la cosmología, pues supone que el registro de distancias a los astros lejanos no sólo sirve para conocer su posición, sino también para trazar un mapa en el

<sup>6</sup> El valor de estos paradigmas reside en su éxito para explicar los fenómenos observados, de modo que si dejaran de ser válidos habrían de sustituirse por otros más plausibles.

<sup>7</sup> Algunos científicos de prestigio, como John Moffat y Paul Davies, han planteado desde finales de la década de 1990 hipótesis que refutan o matizan este paradigma, basándose en especulaciones cosmológicas y en las contradicciones que se detectan en los modelos aceptados sobre el Universo.

<sup>8</sup> Los que tarda la luz en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre la Tierra y el Sol.

tiempo de la historia del cosmos. Por decirlo de otro modo, cuando uno mira al cielo, lo que está viendo es el pasado o, mejor dicho, una sucesión interminable de pasados superpuestos. Si se prolonga el argumento, observando con los potentes telescopios actuales el firmamento más profundo y lejano sería posible atisbar la infancia del Universo.

Pero volvamos a la teoría de la “gran explosión”. Como punto de arranque, en ella se defiende que el Universo actual ha nacido de una dimensión esencialmente nula (un punto) sometida a temperaturas y densidades infinitamente elevadas. Este estado se denomina “gran singularidad” y en él, señalan los cosmólogos, no existían ni el tiempo ni el espacio (lo que sucedió antes de este momento no compete a la física pues es, por definición, incognoscible). La explosión producida en este estado embrionario hipercomprimido dio paso a una “sopa primordial” de la que nacerían las partículas elementales y las diferentes formas de radiación, en un plasma de materia y de energía existentes aún como entidades indiferenciadas.

En aquellos momentos iniciales, el Universo se expandió a una velocidad ultralumínica, en una etapa inflacionaria que apenas duró una milésima de segundo. Siguió un acelerado enfriamiento del material que conformaba el cosmos primitivo, hasta el punto de que unos segundos después de la explosión comenzaron a formarse los primeros núcleos atómicos, junto con las interacciones físicas que hoy se conocen: gravitatoria, electromagnética, débil y fuerte (estas dos últimas, de alcance atómico y nuclear, respectivamente). Ello se acompañó de las primeras reacciones partícula-antipartícula, que dieron origen a la constitución conocida de la materia.

Las cantidades de partículas y antipartículas en este hábitat primordial eran, según el modelo, casi equivalentes. Este “casi” es muy importante, pues la materia y la antimateria colisionan entre sí y se desintegran en energía pura.<sup>9</sup> Por suerte, había una cantidad ligeramente mayor de materia que de antimateria, una feliz asimetría que hizo posible que el sobrante de estas destructivas reacciones (la “materia”) diera origen a toda la masa que conocemos, la que hoy se deposita en las galaxias, soles y planetas, y también en cada brizna de hierba o en cada ser humano.

<sup>9</sup> Por ejemplo, los electrones (partículas elementales de carga eléctrica negativa) se aniquilan con los positrones (iguales a ellos en todo salvo en la carga, que es positiva), y así sucede con los demás pares de partícula-antipartícula. Los científicos han podido reproducir este fenómeno en experimentos en los aceleradores de partículas.

Al cabo de un millón de años desde su inicio, aquel Universo se expandió y enfrió hasta una temperatura que permitió a los núcleos de helio ya formados absorber electrones y dar lugar a los primeros átomos completos de este elemento. Por su parte, los átomos de hidrógeno se unieron entre sí para producir litio, y la densidad cósmica global descendió hasta el punto de permitir la emisión de radiaciones. Fue así como el Universo se hizo “visible”, pues hasta entonces no había luz. El resto de su historia, hasta nuestros días, se habría caracterizado por una progresiva expansión y enfriamiento y por la separación de las manifestaciones de la materia y la energía.



Figura 3. Secuencia esquemática del big bang.

Esta teoría expansionista parte de dos supuestos fundacionales: el modelo de relatividad general de Einstein y la idea de que la visión que se tiene del cosmos no depende del lugar concreto que el espectador ocupe en él ni de la dirección en la que mire (principio cosmológico); ello significaría que la explosión primigenia no se produjo en un lugar concreto del espacio, sino en todo el Universo incipiente al mismo tiempo.

La teoría del *big bang* ha tenido éxito al explicar satisfactoriamente tres resultados observacionales:

- El Universo se está expandiendo, según se deduce del “corrimiento al rojo” general percibido en la radiación electromagnética que llega de las galaxias (Hubble, en la década de 1920).
- La explosión inicial dejó un residuo hoy detectable a modo de una radiación cósmica de microondas que todo lo impregna (Penzias y Wilson, en 1965).
- Los elementos químicos más abundantes en galaxias y estrellas son los más ligeros de la tabla periódica –hidrógeno, helio y litio– en unas proporciones que se corresponden con las predichas por el modelo.

Estas pruebas, aun siendo escasas, se consideran suficientemente importantes para dar prestancia y validez a esta teoría. Con todo, la cuestión sigue abierta, y los científicos están dispuestos a vivir nuevas emociones...

## LA MISIÓN WMAP Y LA EDAD DEL UNIVERSO

No obstante su brillantez y el entusiasmo que suscitaron sus aciertos observacionales, el modelo expansionista del Universo presentaba varias lagunas importantes. Una de ellas era su incapacidad para explicar adecuadamente las estructuras observadas en la realidad del cosmos. En su forma clásica, el *big bang* suponía que la materia y la radiación estaban distribuidas en el Universo primitivo de manera uniforme, una hipótesis que casa bien con la idea de la radiación cósmica de fondo y con las proporciones de elementos químicos ligeros encontradas. Este enfoque, sin embargo, no explica por qué existen las galaxias, ni tampoco la razón por la que éstas se encuentran agrupadas en estructuras concretas de cúmulos y supercúmulos (grupos de galaxias ligados entre sí por efectos de la gravedad). En su mayoría, los cosmólogos opinan que las galaxias que hoy observamos surgieron a partir de pequeñas fluctuaciones, o “grumos”, en la densidad esencialmente uniforme del Universo inicial, pero no han conseguido elucidar el proceso que siguieron para ello.

En este contexto, en 1992 el satélite científico de la NASA conocido por *COBE* (Cosmic Background Explorer) encontró minúsculas fluctuaciones en la radiación cósmica de fondo que no era, pues, tan uniforme como se había creído. Ello aportaba un sustrato de verosimilitud a las condiciones necesarias para la formación de galaxias y cúmulos galácticos. Pero el *COBE* no tenía suficiente sensibilidad para medir con exactitud dichas fluctuaciones. Por ello, en junio de 2001 fue lanzado al espacio el satélite *WMAP* (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), provisto de aparatos de mucha mayor precisión. Desde esa fecha, el *WMAP* estuvo examinando con detenimiento la luz llegada de las profundidades del cosmos para revelar las condiciones en las que se desarrolló el Universo primitivo. El estudio de los datos que envió a la Tierra en los dos años siguientes sirvió para afinar muchos de los parámetros manejados por los astrofísicos. Y también dio nuevo cimiento a la teoría del *big bang*.

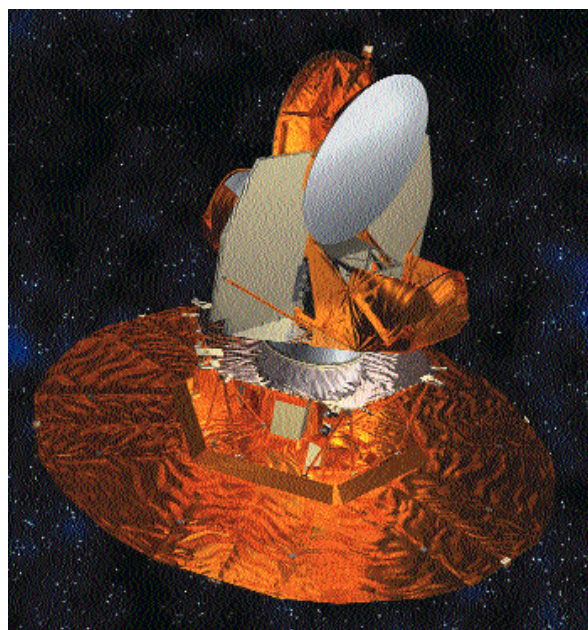


Figura 4. Recreación artística del satélite WMAP. (Cortesía de NASA/WMAP Science Team).

Uno de los resultados más espectaculares obtenidos por el *WMAP* fue la determinación de la edad del Universo. Los métodos habituales usados hasta entonces por los astrónomos para estimar, con gran holgura, la antigüedad del cosmos se basaban en dos técnicas complementarias: apuntar con los instrumentos de observación a las estrellas más viejas conocidas (en los llamados “cúmulos globulares”) y medir la velocidad de expansión del Universo, tomando como referencia el modelo del *big bang*. No es éste el lugar adecuado para describir en detalle estos dos métodos. Baste decir que de la compaginación de ambos surgía una contradicción muy molesta: algunas estrellas parecían ser más antiguas que el propio Universo.

Entre las misiones del *WMAP* estaba la de abordar este asunto. A partir de su observación minuciosa de las pequeñísimas variaciones detectadas en la radiación cósmica de fondo fue posible determinar, con un margen de error del 5%, los parámetros buscados sobre la composición del Universo y su velocidad de expansión. Combinando estos datos con los obtenidos de otros experimentos pudo fijarse la edad del Universo en unos 13.700 millones de años, una cifra superior a la de las estrellas más antiguas conocidas. Ello supuso, si no una constatación concluyente de la teoría del *big bang*, al menos un respiro. Una nueva contradicción en las cifras habría puesto en serios aprietos la validez de todo el edificio argumental de esta teoría.

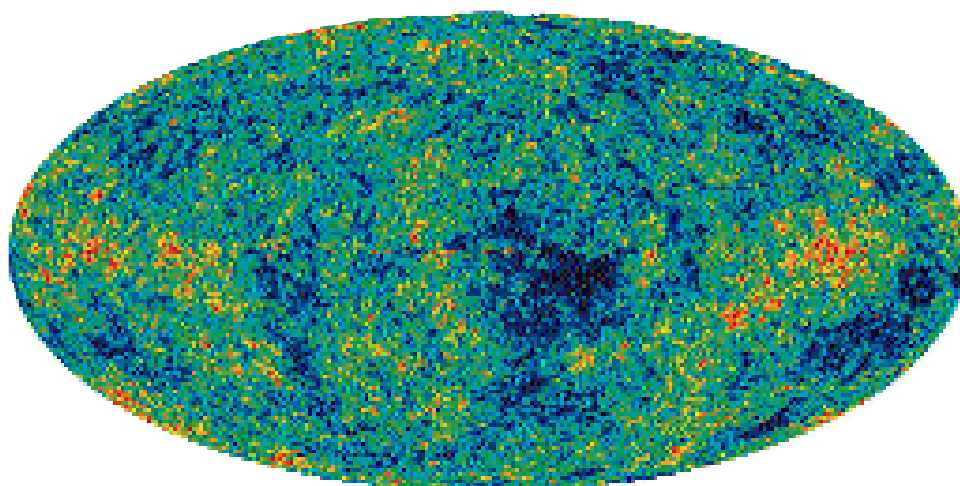


Figura 5. Mapa del cielo en el ámbito de las microondas (ondas de radio de muy baja frecuencia) elaborado según los datos obtenidos por el satélite WMAP. A partir del estudio de las pequeñas fluctuaciones de temperatura de la radiación cósmica de fondo (mostradas como diferentes tonalidades de gris) se ha podido estimar la edad del Universo en 13.700 millones de años, un valor acorde con la teoría del big bang. En este mapa, que se ha comparado con la “huella dactilar” del cosmos, están impresas muchas claves de su historia aún desconocida. (Cortesía de NASA/WMAP Science Team).

## LA MATERIA OSCURA

Otra gran incógnita del modelo cosmológico en vigor se refiere a la materia presente en el Universo. Hasta hace poco más de una década, los científicos pensaban que toda la composición material del cosmos era la misma que conocemos en nuestro entorno inmediato. Los seres terrestres, animados e inanimados, complejos y elementales, estamos compuestos por átomos, y en los átomos coexisten tres tipos de partículas: electrones, protones y neutrones. ¿Por qué no habría de responder a esta misma hechura el Universo en su conjunto?

Sin embargo, los estudios recientes apuntan a la existencia de otras formas o manifestaciones de la materia que no han podido aún desentrañarse. El origen de este enigma se sitúa en el sistema de medición de la masa por medios indirectos, un procedimiento habitual en la astrofísica que sirve, por ejemplo, para buscar planetas en estrellas ajenas al Sistema Solar. Tales planetas extrasolares (de los que en la última década se han encontrado varias decenas) no pueden verse al telescopio, pues no emiten luz, pero se detectan por los efectos que provocan en el movimiento, éste sí perceptible, de las estrellas a las que acompañan. Dicho de otro modo, estudiando cómo se mueven las estrellas los astrónomos son capaces de “pesar” los sistemas estelares y planetarios, y también las galaxias donde éstos se hallan integrados.

La sorpresa llegó cuando de estos cálculos se infirió que la masa de las galaxias estimada por tales procedimientos indirectos era muy superior a la atribuible a la suma total de las estrellas que las conformaban. Observaciones ulteriores sobre el efecto de “lente gravitacional”, predicho por la teoría de la relatividad y que propone que la luz debe curvarse al pasar cerca de un objeto masivo, confirmaron esta discrepancia.

Los astrónomos se vieron así enfrentados al problema de la existencia de una masa misteriosa, una “materia oscura” que ejercía una atracción gravitatoria sobre su entorno pero que en ningún modo se dejaba ver. Inmunes al desaliento, propusieron varios candidatos a “rellenar” el hueco de esta materia inaparente:

- Podría tratarse de enanas marrones, esto es, de estrellas apagadas que, al carecer del combustible necesario para alimentar reacciones nucleares en su interior, no brillan ni emiten radiación alguna. Serían invisibles para nosotros, pero su masa se dejaría sentir en sus alrededores.
- También podrían existir agujeros negros supermasivos, definidos como estrellas colapsadas de una masa tal que atrapan en su interior la materia, la luz y todo tipo de radiaciones. Por esta razón serían indetectables, salvo por sus poderosos efectos de gravedad.
- Quizá existan formas de materia hasta hoy desconocidas, constituidas por partículas exóticas que



los científicos han dado en llamar *WIMP* (siglas de *Weakly Interacting Massive Particles*, o partículas masivas de interacción débil). Esta hipótesis, la más seductora y romántica, es también la más incómoda, por la incertidumbre que despierta.

Ninguna de estas propuestas resulta, ni mucho menos, concluyente. En cualquier caso, otro de los objetivos encomendados al satélite *WMAP* consistía en elaborar en detalle un estudio de la radiación cósmica de fondo que permitiera definir un marco para la interpretación adecuada del misterio de la materia oscura.

## LA ENERGÍA OSCURA: UN NUEVO DESAFÍO PARA LA CIENCIA

En los últimos años, un nuevo asunto ha venido a añadir más interrogantes al modelo teórico vigente de expansión del Universo: la energía oscura. Esta entidad, por más que su denominación parezca remitir a la materia oscura antes nombrada, se analiza desde otros presupuestos dentro de los modelos cosmológicos actuales. Su planteamiento más antiguo se remonta a los inicios del siglo xx. Cuando en aquellos tiempos Einstein propuso su teoría general de la relatividad, llegó a un resultado teórico que no le gustó nada: si su interpretación del fenómeno de la gravitación y de la naturaleza del espacio-tiempo era correcta, el Universo debía estar expandiéndose o contrayéndose. Para no tener que admitir un escenario que contradecía sus convicciones más profundas (él creía fervientemente en un Universo estático), corrigió sus ecuaciones inventándose una “constante cosmológica” que garantizaba el estatismo. Algunos teóricos no estuvieron de acuerdo con este “borrón” en la elegante exposición einsteniana, máxime cuando pocos años más tarde Hubble descubrió que las galaxias se alejan unas de otras, lo que sirvió de sustento a la idea de un Universo en expansión. Ante esta evidencia, Einstein se arrepintió públicamente de su constante cosmológica, a la que calificó del “mayor error de mi vida”.

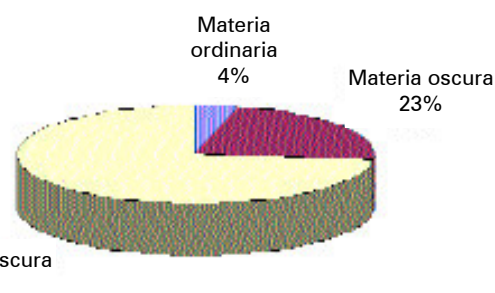


Figura 6. Según las últimas estimaciones de la ciencia, la materia ordinaria que todos conocemos apenas supone el 4% del total del Universo. El resto es materia oscura (23%) y energía oscura (73%).

Sin embargo, muchos cosmólogos piensan hoy que Einstein no iba tan desencaminado. Es verdad que erró al dejar que sus creencias contaminaran su modelo relativista de la gravitación. Pero, aparentemente, sus sucesores cometieron un fallo comparable: simplificaron en demasía el modelo de expansión del cosmos para adaptarlo a sus corazonadas del momento. Lo paradójico es que, para reconducir la situación, lo que se propuso finalmente fue resucitar la idea de la constante cosmológica de Einstein.

Este inquietante “fleco” del modelo cobró relevancia a raíz, cómo no, de mediciones realizadas sobre la radiación cósmica de fondo, ese flujo de fotones (corpúsculos de luz) que llega de todas direcciones y que se ha convertido en un utilísimo instrumento para la astrofísica. Tales medidas apuntan a que la expansión del Universo se está acelerando, va cada vez más deprisa, lo cual plantea un nuevo escenario de estudio<sup>10</sup>.

Desde sus inicios, el modelo del *big bang* había manejado dos “fuerzas” contrapuestas: el impulso de la explosión inicial, que separa las galaxias unas de otras, y la derivada de la masa que, por efectos gravitatorios, actuaría como un freno al movimiento expansivo. Según cuál de las dos venciera a la larga, el Universo se expandiría indefinidamente o, en un momento dado, empezaría a contraerse. Sin embargo, ninguna de las dos explica que la expansión pueda acelerarse. Al descubrirse este fenómeno, hubo necesidad de pro-

<sup>10</sup> A la misma conclusión se ha llegado a partir de observaciones sobre ciertas supernovas (llamadas Ia), una clase de estrellas supermasivas que explotan de forma cataclísmica.

poner una entidad nueva que vendría a actuar como una especie de “antigravedad” y a la que se atribuyeron varios nombres. Algunos la llamaron energía de vacío<sup>11</sup>. Otros prefirieron la denominación más impactante de energía oscura.

Lo que puede decirse de esta exótica forma de energía es muy poco. Por definición, no emite luz, ni se manifiesta en las galaxias. Probablemente, estaría muy dispersa, acaso uniformemente, por lo que sus efectos puntuales serían muy difusos. Además, al ser baja energía no puede reproducirse en los aceleradores de partículas, lo que por el momento impide estudiarla a escala terrestre.

Todas estas premisas complican notablemente la búsqueda de la energía oscura. No obstante, los grupos de investigación más avanzados reconocen que podría constituir hasta el 73% de todo el Universo; sumando el 23% estimado para la materia oscura, el porcentaje de lo incógnito en el cosmos se eleva al 96%. Una cifra enorme y algo descorazonadora: después de tanto trabajo, aún queda “todo” por saber. Por ello, descifrar el fundamento de la energía oscura es uno de los retos de la ciencia actual.

Además, hasta que no se tenga una idea de la identidad y el contenido de la materia y la energía oscuras no podrá aventurarse nada acerca del destino del cosmos. No en vano, ambas entidades se proponen como determinantes esenciales de la llamada densidad crítica del Universo, un factor fundamental según el modelo del *big bang* que permitirá predecir cómo será el futuro. El valor de este parámetro es objeto de un arduo debate, y no ha podido establecerse con fiabilidad. Si el cosmos tuviera una densidad superior a la crítica, en un momento dado de su evolución las fuerzas gravitatorias de atracción entre los cuerpos materiales compensarían la tendencia de expansión, y la fase expansiva se invertiría para dar lugar, en última instancia, a una implosión cataclísmica o “gran crujido” universal (*big crunch*). En cambio, si la densidad cósmica fuera inferior a la crítica, el Universo se expandiría indefinidamente hasta que consumiera su energía útil y cesara el movimiento. Frío y estéril, todo se sumiría al fin de este proceso en un sueño de muerte “por aburrimiento cósmico”.

---

<sup>11</sup> El razonamiento utilizado es un tanto complejo y se encuadra dentro de los supuestos de la mecánica cuántica. Los físicos teóricos suponen hoy que el vacío no está en realidad vacío, sino provisto de “partículas virtuales” que continuamente se crean y se destruyen en intervalos de tiempo brevísimos. Tal proceso produce una “energía de vacío” a la que se asocia una presión negativa, que sería responsable de impulsar la aceleración observada en el movimiento expansivo del Universo.