

# La expansión del universo y la gran explosión

Extraído del libro *Panorama de la astronomía* (segunda edición).

Por Armando Caussade, GCSc, BS

Sociedad de Astronomía de Puerto Rico, Inc. <http://www.astronomiapr.net/>

---

## LA LEY DE HUBBLE Y LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO.

**Trabajos empíricos.** El astrónomo Vesto M. Slipher, quien trabajaba en el célebre Observatorio Lowell (Arizona), deseaba investigar la sospecha de su patrono que las llamadas nebulosas espirales podrían constituir sistemas planetarios en formación. A estos efectos, se afanó por obtener espectros galácticos con la suficiente calidad para llegar a medir el efecto Doppler y determinar velocidades radiales, cosa que antes nadie había hecho. En artículos publicados entre 1913 y 1921, reportó desplazamiento al rojo en 37 de las 41 galaxias que estudió. Llegó a medir velocidades de hasta 1 800 kilómetros por segundo, lo cual le intrigó, pues no comprendía cómo un astro localizado dentro de la Galaxia podía desplazarse tan rápidamente. Esto, según él creía, pues entonces se desconocía el concepto de las galaxias externas.

El trabajo de Slipher fue arduo, pues se vio precisado a empujar su modesto telescopio de 610 milímetros prácticamente al límite de sus capacidades. Necesitó largas horas de exposición en placas fotográficas, entre 20 y 40 horas generalmente, y hasta 80 horas en algunos casos, requiriendo además algunas complicadas modificaciones a sus espectroscopios, que terminaría haciéndolas él mismo.

De otra parte, Edwin P. Hubble, que en 1919 había ingresado al Observatorio de Monte Wilson (California), aplicó a partir de 1925 el método de las variables cefeidas, que ya había utilizado en la galaxia de Andrómeda, para determinar la distancia de varias otras nebulosas espirales como la del Triángulo y NGC 6822. Empleando este método y otros más crudos, obtuvo decenas de distancias, llegando a publicar en 1929 un famoso artículo en el que estableció una relación entre la velocidad de recesión de unas 24 galaxias con su distancia. Esto lo hizo Hubble comparando las mediciones de velocidad obtenidas por Slipher (para unas 20 galaxias) y suplementadas por Milton L. Humason (su incondicional colaborador, que obtuvo otras 4) con las estimaciones de distancias que había hecho él mismo, encontrando que, a mayor distancia galáctica, mayor era la recesión observada de las galaxias.

A partir de 1931, Humason tomó nuevos espectros que permitieron realizar determinaciones adicionales de velocidad en galaxias más alejadas, confirmando así el vínculo entre velocidad y distancia. En 1936, Hubble y Humason habían ya acumulado

datos suficientes para demostrar la correlación en más de un centenar de galaxias, incluyendo algunas tan alejadas como a 70 megapársecs. Indispensable en todo este proceso resultó el enorme telescopio de 2.5 metros en Monte Wilson que utilizaron ambos astrónomos, el mayor de su época y sin el cual ninguno de estos descubrimientos hubiera sido posible.

**Ley de Hubble y constante de Hubble.** A la relación descubierta por estos dos astrónomos, cuya expresión verbal rigurosa sería que *la velocidad de recesión de una galaxia es proporcional a su distancia*, la conocemos hoy día como *ley de Hubble*, aunque el mismo Hubble nunca utilizó dicho nombre, insistiendo en llamarle "relación velocidad-distancia". Este descubrimiento, que se considera el fundamento de la cosmología física, podría visualizarse considerando que las galaxias parecen alejarse todas unas de otras. Esta "huida colectiva" implica una expansión global del universo, aunque Hubble dudó por años de esta interpretación y sería Lemaître quien primero la adoptaría en definitivo.

Conviene aclarar que la ley de Hubble constituye un hallazgo empírico, o sea, un hecho observado, y no una teoría. Lo mismo aplica a la aceleración recientemente descubierta en la velocidad de la expansión.

La *constante de Hubble*, denominada  $H_0$  ("hache sub-cero"), es una medida de la rapidez con que se expande el universo en la actualidad, cuyo valor según observaciones recientes sería de  $71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$  (que se lee como "setenta y un kilómetros por segundo por megapársec"). Esto significa que por cada megapársec la velocidad de recesión de las galaxias aumentará sucesivamente a razón de 71 kilómetros por segundo. La importancia de esta constante sería que ciertos parámetros cosmológicos, como la edad del universo, dependerán del valor que se le asigne. Pero debe tenerse sumo cuidado de no confundir la constante de Hubble con el *parámetro de Hubble*, llamado simplemente  $H$  y que tomaría en cuenta la velocidad cambiante de la expansión a lo largo de la historia del universo.

La determinación del valor de la constante de Hubble exige mediciones muy precisas en una muestra de galaxias lejanas, tanto del desplazamiento al rojo como de distancia, siendo la distancia el valor más difícil de obtener. Mientras más retiradas de la Vía Láctea queden las galaxias, mejor será el resultado, pues más depurados quedarán los datos de la "contaminación" ocasionada por movimientos gravitatorios locales. De hecho, el mismo Hubble sobrestimó en 1929 el valor de  $H_0$  asignándole la cifra de 500. En 1958 Allan Sandage, discípulo de Hubble, redujo este valor a 75, disminuyéndolo posteriormente hasta 50. En 2001, y a través del llamado *proyecto clave* del Telescopio Espacial Hubble (*Key Project*) que midió las distancias de 800 estrellas cefeidas en 18 galaxias ubicadas hasta 25 megapársecs, se logró obtener un valor de 72 que fue considerado entonces como la mejor estimación de la historia.

La ley de Hubble constituye una de las relaciones fundamentales de la astronomía. La expresión matemática de esta ley es  $V_r = H_0 \times d$ , donde  $V_r$  representa la velocidad de recesión de una galaxia (expresada en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $H_0$  la constante de Hubble (expresada en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ , según acostumbrado), y  $d$  la distancia (en megapársecs) a la cual se manifiesta la recesión observada.

Refiriéndonos a la ecuación para velocidad radial que hemos presentado en el capítulo 4, y luego de sustituir y despejar algunas variables, podemos reescribirla y obtener una relación que servirá para estimar distancias galácticas, en la que solo habría que introducir el valor observado para "z", o *redshift*. Esto saldría como  $d \approx z \times c \div H_0$ , donde  $d$  representa la distancia estimada para una galaxia (expresada en megapársecs),  $z$  representa el desplazamiento al rojo,  $c$  la velocidad de la luz ( $= 299\,792.458 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y  $H_0$  la constante de Hubble (expresada en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ ). Pero, al igual que ocurre con la antes citada ecuación para velocidad radial, esta nueva expresión solo servirá cuando  $z < 0.1$ .

Es importante señalar que el desplazamiento al rojo evidenciado en los espectros de las galaxias se interpreta como un *redshift* de carácter cosmológico ocasionado por el crecimiento del espacio mismo (la llamada "expansión métrica del espacio") y no como un resultado del efecto Doppler. Aunque no es incorrecto decir que las galaxias se alejan unas de otras, la realidad es que el espacio entre ellas se está estirando. Vale también mencionar que esta expansión no actúa a pequeñas escalas, pues sus efectos están contrarrestados por las fuerzas gravitatorias locales. Es la gravedad la fuerza que rige a escalas planetarias y estelares, y aún dentro de la Vía Láctea y del Grupo Galáctico Local, debiendo uno mirar por lo menos a 5 o 10 megapársecs hacia afuera para empezar a ver la expansión real del universo.

**Trabajos teóricos.** Trabajando independientemente, en 1924 Aleksandr Fridman y en 1927 Georges H.J.E. Lemaître, argumentaron que la teoría general de la relatividad describía un universo que estaría expandiéndose o contrayéndose, o sea, dinámico y no estático. De hecho, ya en 1917 el mismo Einstein había caído en cuenta de este asunto, aunque prejuiciado con la idea de un universo estático, como muchos de su época, llegó a introducir en sus ecuaciones la famosa *constante cosmológica*, una fuerza repulsiva inherente al propio espacio que se encargaría de contrarrestar la "indeseada" contracción ocasionada por la gravedad. Convencido de haber errado, en 1931 Einstein removió esta constante tras la confirmación experimental de la recesión de las galaxias provista por Hubble; hoy por hoy, la constante cosmológica está considerada como una solución probable para explicar la energía oscura.

Fridman, fallecido de fiebre tifoidea a la prematura edad de 37 años, fue un físico y matemático ruso de extraordinario genio, mientras que Lemaître fue un astrónomo y

sacerdote belga quien llegaría a presidir la Pontificia Academia de las Ciencias. Inicialmente, el trabajo de ambos pasó desapercibido, aunque Arthur Eddington se dio a la tarea de divulgar las investigaciones de Lemaître, antiguo alumno suyo.

Hubble se consideraba a sí mismo como un astrónomo observacional y prefirió permanecer al margen de las cuestiones teóricas. Visualizó sus datos meramente como una relación empírica, resistiéndose a la posibilidad de un universo expansivo y correspondiéndole a otros, particularmente a Lemaître, interpretar las observaciones como evidencia que el universo está en crecimiento. Según lo explicado y a tono con la historiografía contemporánea, podría atribuirse el descubrimiento de la expansión tanto a Lemaître como a Hubble, sin olvidar que también hubo aportes sustanciales hechos por Einstein, Fridman, Humason y Slipher. Expresado de otra manera, Einstein, Lemaître y Fridman contribuyeron el sustrato teórico, mientras que Slipher, Hubble y Humason aportaron la prueba empírica.

**Energía oscura.** Recientes investigaciones han confirmado que la velocidad de expansión del universo no ha sido uniforme a lo largo de su historia, sino que parece ir en aumento. En 1998 y 1999, dos equipos científicos (*High-z Supernova Search Team* y *Supernova Cosmology Project*, respectivamente) divulgaron hallazgos empíricos que demuestran una aceleración que pudiera atribuirse a la hipotética fuerza repulsiva que se ha denominado *energía oscura*. Este resultado causó una gran sorpresa e incluso fue cuestionado, pues la idea prevaleciente hasta entonces, aunque carente de evidencia, era que, a consecuencia de la gravedad, la velocidad de expansión debería reducirse gradualmente.

Las investigaciones se hicieron mediante observaciones de supernovas tipo Ia detectadas en galaxias distantes, utilizando una diversidad de grandes instrumentos entre los que destaca el Telescopio Blanco de 4 metros en Chile, los cuatro telescopios de 8 metros del ESO (también en Chile), y los telescopios gemelos Keck de 10 metros en Hawái, además del Telescopio Espacial Hubble. Vale recalcar que la aceleración es un hecho observado, y que las dudas tienen que ver con la causa, y no con el efecto.

La aceleración se comprobó a través de mediciones similares a las que se hacen para precisar el valor de la constante de Hubble, aunque empleando una muestra de galaxias extremadamente lejanas, para así leer en ellas su aspecto pasado y poder reconstruir los cambios ocurridos desde entonces en la expansión del universo. Se llegó a medir tanto el desplazamiento al rojo de las supernovas (con valores para  $z$  entre 0.3 y 1.0) como su luminosidad aparente (entre  $22^m$  y  $25^m$ ), encontrándose que estas parecían algunas décimas de magnitud menos luminosas y, por ende, más distantes que lo esperado según sus respectivos desplazamientos al rojo. En esencia, estos fueron los hallazgos, cuyo corolario directo sería el hecho que la expansión del universo ha ido acelerándose desde hace 5 000 millones de años.

La interpretación más aceptada para explicar estas observaciones sería atribuir la aceleración a los efectos de la susodicha energía oscura. Algunos han debatido la posibilidad que las supernovas hayan lucido más tenues que lo esperado debido a la presumible acumulación de polvo en el espacio intergaláctico, o a una inherente metalicidad más baja en las estrellas del universo joven que habría menguado la luminosidad de las supernovas, pero tales argumentos no han ganado amplia aceptación.

## **LA TEORÍA DE LA GRAN EXPLOSIÓN Y LA EDAD DEL UNIVERSO.**

El origen del universo puede visualizarse comprendiendo que este es hoy más grande que ayer, debido a su continua expansión. De hecho, resulta lógico pensar que al principio todo estuviera concentrado en un espacio reducido. Lemaître reflexionó sobre esta cuestión, y añadiéndole ciertas nociones planteadas por Fridman, publicó en 1931 su "hipótesis del átomo primitivo" o actual *teoría de la gran explosión*. El modelo encontró entonces poco apoyo, aunque algunos como George Gamow lo promovieron.

Por cierto, desde 1927 y dos años antes que Hubble, ya Lemaître había logrado estimar crudamente la rapidez de la expansión, es decir, ofreció los primeros valores para la actual constante de Hubble. Pero este trabajo lo hizo basándose en datos empíricos aportados por Hubble y por Slipher, pues Lemaître mantenía comunicación regular con ambos astrónomos. Lemaître llegó incluso a percatarse que la edad del universo podía ser aproximada tomando el recíproco de la constante de expansión.

En esencia, la teoría de la gran explosión plantea un universo que en el pasado era muy denso y caliente, lo cual implica un cosmos de tamaño menor y con un estado energético mayor que el actual.

El nombre de "gran explosión" resulta confuso pues no describe con exactitud lo que realmente ocurrió en esos primeros instantes del cosmos. Más que expulsar la materia fuera de un núcleo primigenio, el "estallido" representó un acelerado estiramiento del espacio. El término *big bang* fue asignado no por los proponentes de la teoría sino por sus detractores, como el astrónomo Fred Hoyle, en 1949.

De hecho, como comprendieron Fridman y Lemaître, la expansión misma del espacio puede pronosticarse y explicarse mediante la teoría general de la relatividad. Además, habría que admitir que la gran explosión constituyó el nacimiento no meramente de la materia y de la energía, sino también el origen mismo del espacio y del tiempo. Hay que tener presente que, según la relatividad general de Einstein, el espacio-tiempo no puede concebirse con independencia de la materia-energía.

La teoría de la gran explosión no es mera especulación sino que se apoya sobre el

cimiento de una miríada de observaciones, sucesivamente replicadas y verificadas unas por otras; se trata de una de las teorías científicas mejor evidenciadas. Entre muchas, son cuatro las principales líneas de evidencia que sostienen la teoría del *big bang*, conocidas en conjunto como los *cuatro pilares de la gran explosión*.

**1. La ley de Hubble.** Entre 1930 y 1965, la relación velocidad-distancia constituyó el cimiento exclusivo para la teoría de la gran explosión, y aún hoy se considera la mejor evidencia disponible.

Dado que las galaxias aumentan su recesión de acuerdo a la distancia, podemos afirmar no solo que el universo se expande, sino que la expansión será vista de manera igual desde cualquier lugar del cosmos. Dicho de otro modo, la ley de Hubble se cumple en todas partes y no solamente para nosotros, lo cual acarrea como resultado que no existe un centro definido de crecimiento. El hecho de una expansión generalizada demuestra que el universo pasado habría sido considerablemente más pequeño.

**2. El fondo cósmico de microondas, o radiación cósmica de fondo.** Es una luz residual que permea el cosmos, y que se ve en todas direcciones del cielo con una intensidad casi uniforme, evidencia irrefutable que el universo joven era más energético. Desde 1948 se había pronosticado la existencia de esta radiación por George Gamow (quien había estudiado en Rusia bajo Aleksandr Fridman) y su discípulo Ralph Alpher, pero lamentablemente se les ignoró. Su hallazgo accidental en 1964 por Arno Penzias y Robert Wilson, trabajando los dos juntos con un pequeño radiotelescopio, afianzó la teoría de la gran explosión y especialmente acalló a sus detractores. En 1965, Robert H. Dicke junto con tres colegas confirmaron la validez del descubrimiento y además aportaron un análisis teórico completo.

El fondo cósmico de microondas es una radiación térmica cuyo espectro alcanza un pico en longitud de onda de 1.1 milímetros (detectable con radiotelescopios, pues corresponde al rango de las microondas) y que equivale precisamente a la emisión térmica de un cuerpo negro con temperatura de 2.7 kelvin. Ciertamente, esta radiación corresponde al cuerpo negro más perfecto jamás visto. Debido a la continua expansión del universo y a consecuencia del desplazamiento al rojo cosmológico, las ondas de esta luz se han alargado o "enrojecido" de modo considerable hasta alcanzar hoy día el rango de las microondas.

Esta luz está constituida por los primeros fotones que atravesaron el universo cuando este se enfrió lo suficiente para hacerse transparente, evento ocurrido luego de 380 000 años de la gran explosión. Hasta entonces, la transmisión de luz había sido obstaculizada por las altas temperaturas y la consecuente ionización de la materia. El plasma que entonces permeaba todo el universo era opaco, pues se hallaba repleto de partículas cargadas que inevitablemente interactuaban con los fotones. Transcurrido este corto período, las

temperaturas descendieron a unos 3 000 kelvin, lo suficientemente "fresco" para que la materia se deionizara; sucedido esto, protones y electrones sueltos se combinaron para formar átomos completos, creando entonces un gas ordinario (no un plasma) y permitiendo el libre paso de los fotones.

**3. La razón de hidrógeno y de helio en el universo.** Existe hoy día en el cosmos mucho más helio de lo que habría podido elaborarse aún por la suma total de las estrellas que han existido. Pero el universo joven era uno de alta densidad y temperatura, lo cual se asemeja notablemente a las condiciones físicas que en la actualidad rigen en el interior de las estrellas donde ocurre la nucleosíntesis del helio.

Desde la década de 1970 y por medio de simulaciones numéricas, se ha llegado a estimar la cantidad de H que fue transformado en He durante los instantes siguientes a la gran explosión, a partir del tercer minuto y probablemente durante otros quince minutos adicionales, hallándose una razón de 75% H versus 25% He (contabilizado por masa) y sumando además una cantidad ínfima de Li (litio). Este resultado concuerda bien con las proporciones observadas en galaxias poco evolucionadas, medidas que pueden obtenerse dirigiendo grandes telescopios hacia regiones extremadamente distantes del universo.

**4. La estructura del universo vista a grandes escalas.** A pesar que el fondo cósmico de microondas es esencialmente *isotrópico*, lo cual significa que la intensidad de la luz resulta casi igual en todas direcciones, en 1992 el satélite *COBE* (*Cosmic Background Explorer*) descubrió pequeñas *anisotropías* con desviaciones de tan solo una o dos partes en 100 000, resultado que luego fue confirmado por las sondas *WMAP* (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) y *Planck*. Estas irregularidades parecen constituir el germen que originó las grandes estructuras que hoy día observamos en el universo.

La analogía que se emplea en torno a este asunto hace referencia a ciertas concentraciones de materia oscura, denominadas *semillas gravitatorias*, cuya atracción fue gradualmente concentrando importantes cantidades de material, y a su vez, dejando amplias regiones vacías. Dicha estructura es muy antigua, y antecede al nacimiento de las galaxias. Este escenario, que también está apoyado por experimentos de simulación numérica, explicaría la estructura a gran escala que observamos hoy día, constituida por filamentos y láminas integrados por supercúmulos galácticos, rodeados a su vez por grandes huecos.

Otras evidencias relevantes serían: (1) el hecho que, al mirar lejos y contemplar la apariencia pasada de las galaxias, estas lucen más pequeñas y desorganizadas, es decir, menos evolucionadas y por ende más jóvenes; como asimismo, (2) el campo emergente de la datación estelar, de cuyos resultados se desprende que las estrellas más ancianas parecen haber cumplido "solamente" 12 000 o 13 000 millones de años. De hecho, la teoría de la gran explosión implica un universo finito en tiempo, que lógicamente debió

haberse engendrado en un momento pasado cuya antigüedad podría calcularse.

**La edad del universo** puede aproximarse mediante la relación  $T_0 \approx 1 \div H_0$ , donde  $T_0$  representa la edad del universo (en segundos), y  $H_0$  representa la constante de Hubble (cantidad que puede introducirse en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ ). Esta estimación, que se conoce como *tiempo de Hubble*, representa la edad que hoy día tendría el universo asumiendo que la rapidez de la expansión cósmica fuera uniforme, aseveración que según lo explicado resulta casi cierta, aunque no del todo. A grandes rasgos y de modo aproximado, la edad del universo no es otra cosa sino el recíproco de la constante de Hubble.

Debido a la diferencia en las unidades de distancia empleadas, kilómetros versus megapársecs, el resultado preliminar de la ecuación deberá multiplicarse por el correspondiente factor de conversión,  $3.085\,678 \times 10^{19}$ , que representa el número de kilómetros que hay en un megapársec. El resultado final para  $T_0$  saldrá en segundos, que podrá convertirse en años dividiendo a su vez por el factor respectivo  $3.155\,760 \times 10^7$ , lo cual equivale al número de segundos en un año juliano de 365 días y 6 horas.

El cuadro que aparece a continuación demuestra esta relación de un modo intuitivo. Puede verse que el efecto de asignar valores más elevados a la constante de Hubble será que se obtendrá un universo más joven. Este resultado es lógico, pues si la expansión cosmológica ocurriera a velocidades más altas, el universo habría alcanzado sus dimensiones actuales en un tiempo considerablemente más corto.

Valor asignado a la constante de Hubble	Resultado para el tiempo de Hubble
50 kilómetros por segundo por megapársec	19 600 millones de años
60 "	16 300 "
70 "	14 000 "
80 "	12 200 "
90 "	10 900 "
100 "	9 800 "

Si adoptamos un valor de  $71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$  para la constante de Hubble, la cifra más aceptada al presente, la edad del universo quedaría como 13 800 millones de años, después de resolver mediante la aproximación anterior. El cómputo puede hacerse con mayor rigor, pero esto conlleva un procedimiento intrincado que requerirá considerar al menos tres parámetros cosmológicos fundamentales: la constante de Hubble ( $H_0$ ), el parámetro de densidad ( $\Omega$ ) y el parámetro de deceleración ( $q_0$ ).

A pesar de este valor para  $T_0$ , los límites del *universo observable* podrían fijarse bastante más allá de un radio de 13 800 millones de años luz, pues el cómputo a realizarse deberá también considerar la expansión del cosmos y las variaciones registradas en la rapidez de esta. El cálculo se complica por el hecho que en ciertas instancias del espacio-tiempo, la



expansión discurre más rápidamente que la velocidad de la luz, pues no le aplica a ella el límite einsteniano impuesto por la constante "c". Tomando en cuenta todo esto, dicha frontera ubicaría a un radio de 46 000 millones de años luz (o sea, 14 000 megapársecs). Por tratarse del universo observable para nosotros, los límites parecerán equidistantes, pero esto de ningún modo implica que la Tierra quedaría situada en el centro del cosmos.

La historia del universo en su conjunto no está todavía tan bien delineada como la del Sistema Solar, pero algunos eventos notables han podido datarse de manera aproximada: (1) la creación de las principales partículas subatómicas (i.e., protones, neutrones y electrones), que habría concluido apenas un segundo después de la gran explosión; (2) la nucleosíntesis originaria del He, que habría comenzado tres minutos después; (3) el origen de los átomos neutrales de H y He, una vez transcurridos 380 000 años; (4) el nacimiento de las primeras estrellas, comenzando a 100 millones de años; (5) las primeras estrellas moribundas, algún tiempo después de los 100 millones de años; dichas estrellas comenzarían a expulsar al espacio los elementos pesados requeridos para la formación de los primeros planetas; y (6) la formación de las galaxias, entre 200 y 400 millones de años luego de ocurrida la gran explosión.

Se han propuesto sistemas alternos a la gran explosión, siendo el más conocido la *teoría del estado estacionario*, lanzada inicialmente en 1928 por James Jeans en su libro *Astronomía y cosmología*. El concepto fue ampliado y popularizado a partir de 1948 por Fred Hoyle, Thomas Gold y Hermann Bondi, y luego reformado en 1993 por Hoyle, Geoffrey Burbidge y Jayant V. Narlikar. Se plantea un universo eterno y aproximadamente uniforme en densidad, idea que conflige con la expansión observada del cosmos. Para conciliar la teoría con este hecho se introdujo el concepto denominado *creación continua de materia*, que implicaría la aparición constante y espontánea de átomos de hidrógeno surgidos del vacío. El problema sería que, hasta hoy, nadie ha llegado a detectar la susodicha creación de materia.

**El modelo estándar.** Sobre la base del actual conocimiento empírico, y con la finalidad de explicar las observaciones, se ha elaborado todo un sistema cuya forma actual data de la década de 1990 y que se conoce con el nombre popular de *modelo estándar de la cosmología*, aunque los especialistas lo denominan como *modelo  $\Lambda$ CDM* (que se lee como "modelo lambda-CDM"). Naturalmente, el sistema está fundamentado en la gran explosión, aunque también se nutre de otros "ingredientes" cosmológicos como la energía oscura ( $\Lambda$ , que se lee como "lambda") y la materia oscura (CDM o *cold dark matter*). Además, el modelo estándar comparte ideas con el modelo ascendente de la formación de galaxias.

Las mismas observaciones que sostienen el modelo estándar han permitido estimar el contenido cósmico total o *presupuesto del universo*: energía oscura 68%, materia oscura 27%, y materia ordinaria ~5% (la cual consiste de H y He, casi exclusivamente). A

dichos números se le sumaría también una pequeña cantidad aportada por energía ordinaria que podemos detectar bajo la forma de fotones y de neutrinos. A fin de cuentas, los astros que observamos con nuestros telescopios, apenas llegarían a sumar una parte de cada veinte en el presupuesto del universo, es decir, una pequeña fracción de todo cuanto existe. ■

---

**Copyright © 2017 Armando Caussade. Reservados algunos derechos.**

Este opúsculo es gratis. Puede fotocopiar y distribuirse libremente.

Licencia Creative Commons: Atribución – No comercial – Sin derivar 4.0 Internacional.  
CC BY–NC–ND 4.0.