

523.

1

AGU

En el límite del universo

La visión cosmológica de Stephen W. Hawking

Luis Armando Aguilar Sahagún



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

1. Rasgos de la imagen actual del universo

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Lo que aprendemos de la cosmología es que nos enseña muy pocas cosas (W.H. Mc Crea, *Cosmología*, p. 171).

El desarrollo de la cosmología tiene una larguísima historia. Los primeros intentos del pensamiento y las primeras manifestaciones religiosas del hombre vienen acompañadas generalmente por una determinada visión del universo. Los pueblos antiguos desarrollaron gran cantidad de cosmogonías en las que lo natural y lo sobrenatural estaban inseparablemente ligados. Fue sobre todo en Egipto, Babilonia y Grecia donde se inició una observación a la vez más contemplativa y racional del cosmos, con lo cual dio comienzo lo que hoy llamamos cosmología.

La cosmología es hija de la astronomía y de la astrología: el hombre observaba el universo con distintos fines: unas veces para buscar en él los signos de su suerte, otras para adorar en él a la divinidad, para orientarse en sus actividades agrícolas o marinas, otras, en fin, por el goce estético de la contemplación. De los distintos modos de aproximarse a la realidad fueron surgiendo imágenes distintas del mundo. La imagen que fue prevaleciendo se fue forjando como fruto de una observación más detallada y en mayor correspondencia con los hechos.

En la antigüedad griega, por ejemplo, Pitágoras (¿580-500?) suponía que las estrellas estaban sujetas a una gigantesca esfera de cristal que giraba alrededor de la tierra, quedando como incógnita lo que había detrás. Todos los astros giraban en torno del fuego central. En tiempos de Platón (427-347 a.C.), los astrónomos griegos habían asignado a cada planeta su propia esfera sólida en rotación. Eudoxo (408-355 a.C.), uno de los matemáticos más originales de su tiempo, representó

con más precisión los movimientos de los planetas y asignó a cada una varias esferas concéntricas en rotación acopladas entre sí (27 en total). Su discípulo Calipo añadió veinte esferas más, y Aristóteles (384-322 a.C.), discípulo de Platón, añadió aún otras ocho, llegando a un total de 55. Aristóteles suponía que el tiempo era infinito, dado que consideraba que el universo era eterno, si bien aceptó la idea de las conflagraciones cíclicas del cosmos: después de un cierto período de tiempo, todo es destruido para volver a comenzar de nuevo.

Para Aristóteles el universo era finito, es decir, tenía un límite en alguna región del espacio, al cual asignaba una existencia propia, como receptáculo de los cuerpos. En el espacio puede haber o no materia; en último caso podemos hablar de un espacio vacío: el espacio despojado de cuerpos materiales.

La concepción aristotélica del espacio se sobrepuso a otras propuestas filosóficas, y pudo sobrevivir a la revolución copernicana, la nueva física de Galileo, y aun sirvió de fundamento a la idea de espacio absoluto de Newton.

Con contadas excepciones (por ejemplo, Heráclides de Ponto, Aristarco, Hiparco de Nicea, Eratóstenes, Ptolomeo, Lucrecio y algunos estoicos) la cosmología cayó en el olvido después de Aristóteles en la tradición occidental.

Fue hasta los tiempos de Nicolás Copérnico (1473-1543) y Johannes Kepler (1571-1630) cuando las grandes interrogantes de la cosmología fueron replanteadas con nueva vitalidad. Copérnico todavía se representaba el universo como "firmamento" o "esferas de las estrellas fijas", una idea que tomó del astrónomo griego Claudio Ptolomeo (siglo II d.C.), aunque Copérnico desplazó su centro de la Tierra al Sol, y atribuyó su revolución diaria a la propia rotación de la tierra. Un siglo más tarde, Kepler prescindió de la cúpula sólida, pero nunca abandonó la idea de que todas las estrellas estaban sostenidas en una capa cuyo centro era el Sol.

La nueva física desarrollada por Kepler y Galileo (1564-1642) hicieron posible el desarrollo de la cosmología en un sentido más moderno. Un elemento clave de la revolución científica fue la transición de la concepción del universo cerrado a la del universo infinito. En este desarrollo jugaron un papel decisivo el dominico italiano Giordano Bruno (1548-1600) y el físico y matemático inglés Isaac Newton (1642-1727). Este adoptó la tesis de la infinitud del espacio y del tiempo. También

planteó la cuestión del número y distribución de las estrellas; de si las más remotas lejanías del espacio seguirían conteniendo astros. Su ley de la gravitación le obligó a suponer un número infinito de estrellas; a consecuencia de la atracción, un número finito no podría permanecer en equilibrio; tendrían que contraerse.

Newton formuló esta idea, para él incontrovertible, de la siguiente manera:

El espacio absoluto permanece, en virtud de su naturaleza y sin relación con ningún objeto externo, siempre igual e inmóvil.²

El universo de Newton no sólo es ilimitado sino también uniforme. Las propiedades medias del universo las suponía idénticas para cualquier observador, sin importar dónde se hallara situado. El universo de Newton, como el de Giordano Bruno, "tiene su centro en todas partes, la circunferencia en ningún sitio." (G. Bruno, *Della causa, principio ed uno*, V).³

Con respecto al tiempo, Newton concebía un universo finito, pues pensaba que Dios había dado origen a todas las cosas en el tiempo:

Me parece probable que Dios haya creado en el principio las cosas materiales en partículas masivas, fijas, duras, indivisibles y móviles; con tales propiedades y en tal relación con el espacio, como si condujeran al fin para el que fueron hechas... De modo que la naturaleza tiene una duración constante, en la cual la modificación de las cosas corporales se produce en virtud de la unificación y movimiento de estos elementos permanentes.⁴

Si bien la mecánica de Newton fue el motor de la física moderna durante los siglos XVIII y XIX y hasta bien entrado el XX, la mayoría de los astrónomos se sentían más inspirados por las ideas de Copérnico, Kepler y Galileo que por las de Newton en lo que se refiere a la idea del universo. A pesar del descubrimiento de que las estrellas eran soles, se seguía pensando que el Sol de nuestro sistema era el centro del mundo, o estaba muy cerca del mismo. Cuando en 1918 el astrónomo inglés Harold Shapley descubrió que el Sol se hallaba al borde de un gran disco formado por miríadas de estrellas, trasladó el centro del universo a dicho disco.

El primer astrónomo que dio un argumento convincente a favor del postulado de Newton sobre la uniformidad del universo fue el norteamericano Edwin Hubble (1889-1953), en 1929. Sin embargo, todavía en la década de los sesenta algunos cosmólogos sostenían que

el universo tiene un centro, en cuyas proximidades se situaba nuestro planeta.

EL PUNTO DE RUPTURA

Einstein puso los cimientos tanto de la física como de la cosmología modernas. Con su teoría especial de la relatividad (1905), echó por tierra las ideas de simultaneidad, espacio y tiempo absolutos. La determinación de las coordenadas espacio-temporales de un evento depende del sistema de referencia que se adopte. Como consecuencia de esto Einstein llegó a la conclusión de que masa y energía son magnitudes equivalentes. Contrariamente a lo que la física clásica supuso, la energía tiene una masa. Pero, como señala el mismo Einstein,



el resultado más importante, de índole general, a que ha conducido la teoría de la relatividad especial, se refiere al concepto de masa. La física prerrelativista conoce dos principios de conservación de capital importancia, a saber, el principio de conservación de la energía y el de conservación de la masa. Ambos principios fundamentales aparecían con completa independencia el uno del otro. La teoría de la relatividad los funde en un solo principio.⁵

De ahí que pueda considerarse que “masa y energía sean, por tanto, iguales en esencia, es decir, distintas manifestaciones de la misma cosa”.⁶ Este resultado quedó plasmado en la famosa ecuación: $E = mc^2$. La energía es equivalente a la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz.

El paso decisivo proviene de las grandes implicaciones de su teoría de la relatividad generalizada.

Además de tomar la velocidad de la luz como un límite insuperable (los fotones, partículas luminosas sin masa, viajan a esta velocidad, cualquier otra partícula viaja a una velocidad menor), la teoría de la relatividad general se basa en tres axiomas:

1. *El principio de covarianza* (las leyes físicas son independientes de las coordenadas espacio-temporales elegidas); lo relativo son los sistemas de referencia, lo absoluto son las leyes que gobiernan los fenómenos.

2. *El principio de equivalencia* (gravitación e inercia son una misma cosa). Einstein explica este principio de la siguiente manera:

De acuerdo con la ley newtoniana del movimiento tenemos:

$$(\text{Fuerza}) = (\text{masa inercial}) \times (\text{aceleración}),$$

donde la masa inercial es una característica del cuerpo acelerado. Si la fuerza aceleradora es la gravedad, tenemos por otro lado:

$$(\text{Fuerza}) = (\text{masa pesante}) \times (\text{intensidad del campo gravitatorio}),$$

donde la masa pesante es también una característica del cuerpo. A partir de ambas relaciones se sigue que:

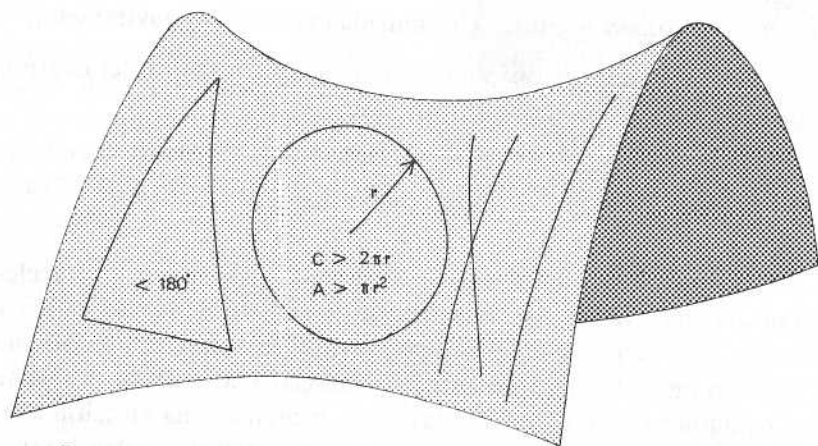
$$(\text{Aceleración}) = \frac{(\text{masa pesante}) (\text{int. del campo gravitatorio})}{(\text{masa inercial})}$$

Para que ahora —tal y como resulta de la experiencia— la aceleración sea siempre la misma, independientemente de la naturaleza y el estado del cuerpo, para un campo gravitatorio dado, es preciso que la relación entre la masa pesante y la inercial sea también la misma para cualquier cuerpo. Por consiguiente, mediante una elección adecuada de las unidades, es posible hacer que esta relación valga 1; tenemos entonces el siguiente principio: *La masa pesante y la masa inercial de un cuerpo son iguales.*⁷ Este principio hay que interpretarlo reconociendo que: la misma cualidad del cuerpo, según las circunstancias, se manifiesta como “inercia” o como “peso”.

Einstein expresa la misma interpretación de la siguiente manera: “el hecho de la igualdad entre masa inercial y masa pesante, o si se quiere, *el hecho de que la aceleración gravitatoria es independiente de la sustancia que cae*, puede expresarse así: en un campo gravitacional (de extensión espacial reducida) las cosas se comportan igual que en un espacio libre de gravitación, siempre y cuando se introduzca en éste, en lugar de un ‘sistema inercial’ (cuerpo de referencia rígido en un estado más o menos definido), un sistema de referencia acelerado con respecto a aquél”.⁸

3. El principio que establece que *la materia modifica la métrica espacio-temporal*. La materia determina las propiedades geométricas del espacio, es decir, la estructura del universo; la presencia en él de grandes masas provoca la curvatura del espacio (a lo que llamamos gravitación). La gravitación no es entendida como una “fuerza”, sino como una propiedad geométrica del continuo espacio-tiempo.

Según Einstein, si la distribución de la materia en el universo fuera uniforme, éste tendría simetría esférica; si no es uniforme, en puntos concretos el comportamiento correspondería a una simetría cuasi-esférica.

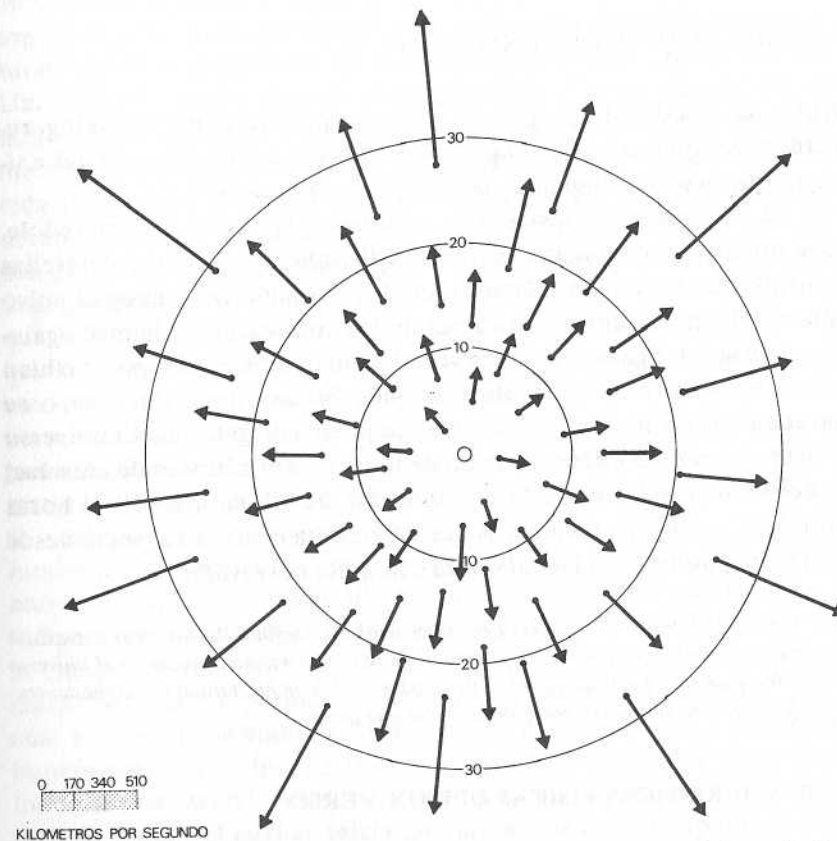


En el universo propuesto por Einstein el espacio puede compararse, en cuanto a sus propiedades, con esta superficie en dos dimensiones. Se trata de un espacio curvo en el que la luz traza hipérbolas, en vez de líneas rectas. Debido a la curvatura no se cumplen en él los teoremas de Euclides.

Fue el mismo Einstein quien utilizó su teoría para tratar de encontrar una imagen adecuada del universo en su totalidad. Dicha imagen dependía de la solución que se diera a las ecuaciones (llamadas ecuaciones de campo) con las que había formulado su teoría. Los modelos del universo de los que más adelante hablaremos son distintas soluciones a esas ecuaciones. Estos modelos extrapolan los resultados a partir de las siguientes suposiciones:

- A grandes rasgos, el universo debe ser homogéneo e isótropo a la mirada del observador; es decir, el aspecto ha de ser siempre el mismo, en cualquier momento; es el llamado principio cosmológico.

- La materia del universo es considerada como si fuera un fluido esparcido homogéneamente por todo el espacio.
- Puesto que en la teoría de la relatividad generalizada el tiempo está íntimamente ligado a la estructura métrica del espacio (pues el tiempo lo es con respecto a un lugar con las masas que lo ocupan), se establece un “tiempo cósmico”, independiente de cualquier métrica espacial, y que puede definirse en cada instante en todo el universo.⁹



El modelo cosmológico del mismo Einstein era estático y finito. Teóricamente, este modelo resulta equivocado, a la luz de los descubrimientos de los que hablaremos a continuación.

Es importante notar que el valor de verdad que tenga la imagen actual del universo que se hace la ciencia depende, en gran parte, de la validez de estos supuestos. Más adelante tendremos que volver más

detenidamente sobre algunos de ellos. Baste señalar en este momento que el supuesto de que la materia es como un fluido homogéneo esparcido por todo el universo es, de hecho, falso. Las galaxias, en efecto, no están uniformemente distribuidas, sino aglutinadas. Ni siquiera los cúmulos de las galaxias están uniformemente distribuidos. Los más recientes intentos por hacer mapas tridimensionales del universo indican que las galaxias se conectan en forma de capas que circundan espacios vacíos.

IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO

Antes de describir la imagen del universo propuesta por Hawking, recordemos rápidamente los rasgos característicos de la imagen del universo hoy más comúnmente aceptada en cosmología.¹⁰

El universo es un sistema de realidades de la más diversa índole. Comprende, ante todo, los astros y sus distintas agrupaciones (estrellas múltiples, asociaciones, cúmulos, etc.), pero también el gas y el polvo interestelares. Su unidad física posee una configuración llamada galaxia. A su vez, las galaxias, o bien se hallan dispersas en el espacio o bien constituyen sistemas o configuraciones físicas supragalácticas o se agrupan en configuraciones llamadas cúmulos de galaxias. El universo hasta hoy conocido tiene un radio de unos 15 000 millones de años luz; el del sistema solar es de 11 300 millones de kilómetros (10.93 horas luz). Y se supone isotrópico, es decir, presenta el mismo aspecto desde cualquier punto del universo y para cualquier observador.

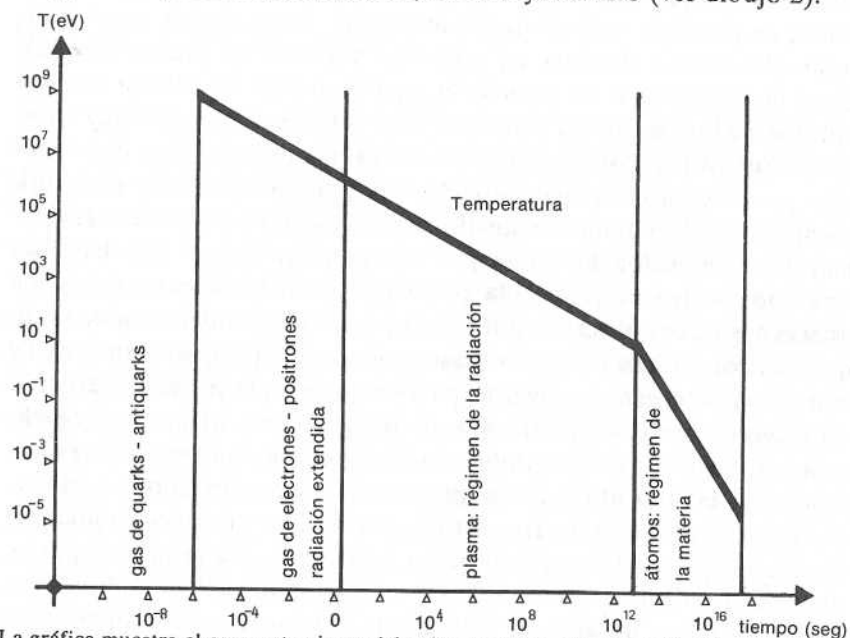
N.B. Según señalan los cosmólogos, hoy conocemos los confines del universo que existió hace miles de millones de años, dependiendo de la distancia; desconocemos el universo actual; los quásares, que viajan a 90 % de la velocidad de la luz, tardan aproximadamente 20 000 millones de años en hacer llegar su luz a la tierra.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL UNIVERSO

De acuerdo con una teoría hoy comúnmente aceptada, en los primeros instantes del universo observable toda la materia estuvo concentrada en un espacio muy reducido, ante todo en forma de energía radiante con densidad prácticamente infinita (ver dibujo 1). Este estado del universo debió ocurrir hace unos veinte mil millones de años (este dato se obtiene extrapolando hacia el pasado la medición de la

expansión posterior de la materia). Tomando en cuenta que una vez formados los cuerpos materiales, la mutua atracción gravitacional desaceleró la expansión, puede pensarse que ésta debió ser más rápida en las primeras fases posteriores a la explosión inicial, ocurrida hace unos dieciocho mil millones de años (en nuestra cronología actual podemos considerar la ocurrencia de este suceso como el tiempo cero). Una millonésima de segundo antes del tiempo cero el universo estaría constituido por un gas denso formado de innumerables partículas elementales (quarks, antiquarks, gluones, positrones, neutrinos y fotones; en principio indivisibles) que emitían una radiación a temperaturas altísimas (calculada en miles de millones de grados Kelvin). Unos microsegundos después de la gran explosión (se calcula una mil millonésima de segundo) la temperatura sufrió un descenso muy notable y la densidad pasó a ser finita. Con esto, a excepción de una reducida proporción de quarks, los gluones y los pares quark-antiquark desaparecieron, y todas las demás partículas elementales se transformaron en radiación luminosa por mutua aniquilación. En virtud de una enorme fuerza (conocida como interacción nuclear fuerte) los quarks libres se unificaron por tríadas, dando lugar de este modo a lo que hoy conocemos como neutrones y protones (partículas sin carga y con carga eléctrica positiva, respectivamente). De no haber existido un mayor número de quarks que de antiquarks no se habría formado la masa. Debido al desequilibrio entre la cantidad de materia y antimateria presentes al inicio del proceso de descompresión del universo, existen en el universo actual mucho más fotones (radiación luminosa) que nucleones (protones y neutrones). La proporción es de uno a mil millones. Unos 300 000 años después del tiempo cero la temperatura era de unos 30 000 grados Kelvin. A estas temperaturas la energía de radiación de los fotones dominaba sobre la energía de masa. Por eso ese período es llamado "régimen de radiación", en el cual la masa presentaba la forma de plasma de núcleos y electrones impermeables a la luz. El régimen de radiación termina después de los primeros 300 000 años, y da lugar a lo que se conoce como "régimen de masa", el cual se inicia con un descenso de temperatura muy brusco (desde 30 000 hasta sólo 3 grados Kelvin, que es la que hoy es posible medir). En el régimen de masa, que llega hasta nuestros días, la energía contenida en la materia en forma de masa es mayor que la energía en forma de radiación. Al principio de este régimen la temperatura era de unos 10 000 grados Kelvin. Entonces se pudieron constituir los átomos de hidrógeno y de helio, dado que en el régimen de

radiación la energía calorífica era tan grande que impedía la unión de los electrones de los núcleos. De los átomos en continua colisión se formaron nubes en forma de discos rotantes gigantes. A partir de ellos, a su vez, se formaron las galaxias, en las cuales el gas se fue condensando en forma de millares de estrellas. En el interior de las estrellas, la fusión de los núcleos de hidrógeno y de helio dio origen a los átomos de otros elementos más pesados. Parece que desde entonces la composición de la materia permanece inalterable. El universo pasó, así, por tres períodos: subnuclear, nuclear y atómico (ver dibujo 2).



La gráfica muestra el comportamiento del universo en los primeros 300 millones de años de su historia.

De ser cierta la descripción del proceso anterior, es posible caracterizar al universo como un sistema material evolutivo en expansión.

1) Es, en primer lugar, un sistema evolutivo. Originalmente las galaxias, masas gaseosas de configuración turbulenta, se fueron fragmentando en concentraciones locales que, por contracción, comenzaron a brillar en forma de estrellas. Estas no se formaron de una vez, sino que se han ido formando paulatinamente con el gas de las galaxias. Es un fenómeno que casi se comprueba ante nuestros propios ojos, y que permite hablar de distintas poblaciones estelares y de estrellas de distinta edad y hasta de generaciones distintas.

Con ello se inician dos procesos. Uno, el proceso de la formación de galaxias. A medida que el gas se va consumiendo, va cambiando la configuración geométrica de las galaxias: de irregular pasa a espiral y de ésta a elíptica, etc.

El otro proceso es el de cada estrella: comienza a brillar como un astro, inicia entonces una serie de reacciones nucleares y de procesos físicos¹¹ que le hacen pasar a la condición de gigante, y de ésta, a su vez, a configuraciones distintas (pulsantes o no pulsantes), para terminar por contracción o explosión (supernova) en la configuración de enana blanca. Con la explosión la estrella arroja al espacio su material en forma de polvo, con lo cual se puede iniciar una segunda generación de estrellas.

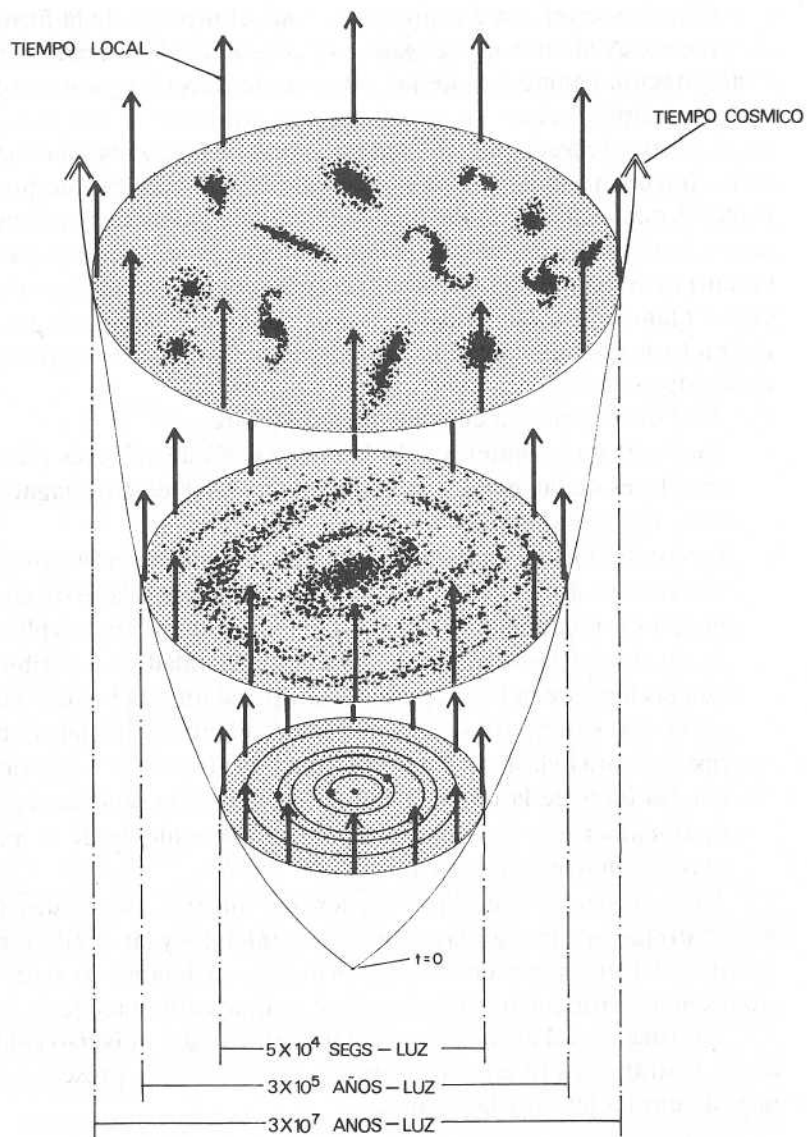
Este doble proceso depende de dos factores:

- Las leyes de la materia y de la energía. Es decir, leyes gravitatorias, leyes de las partículas elementales, leyes electromagnéticas y leyes termodinámicas.
- La configuración de cada galaxia. Cada configuración procede de la anterior, determinada por las leyes de la materia. Esta configuración es, inicialmente —según las teorías de la gran explosión— de un comportamiento que rebasa la posibilidad de describirlo según las leyes de la física, pues se trataría de un estado de la materia en el que es imposible conocer las condiciones iniciales con los instrumentos clásicos y relativistas de la física. De cualquier forma, las leyes de la termodinámica imponen a la secuencia de configuraciones una dirección temporal irreversible desde el máximo orden al máximo desorden.

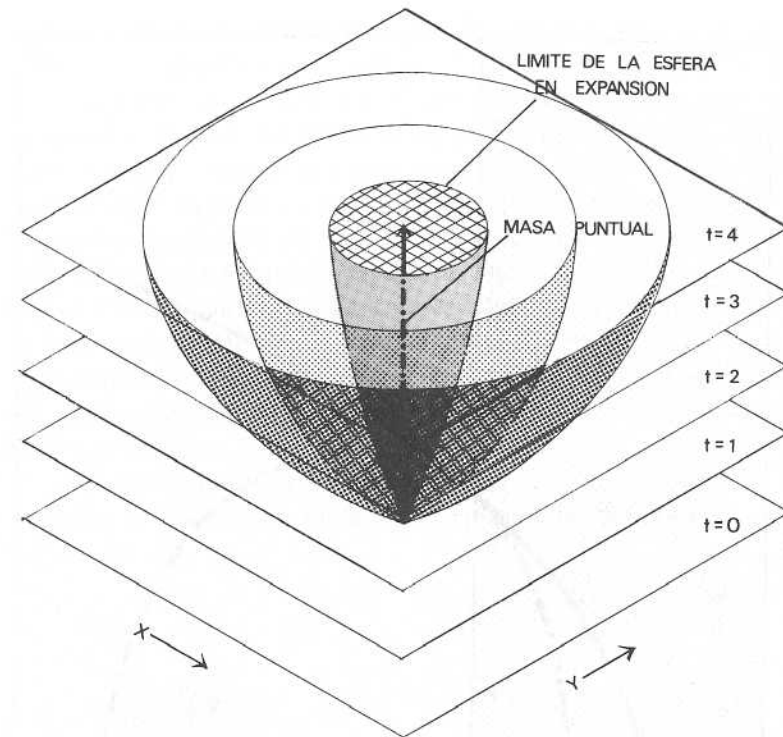
Unas mismas estructuras pueden dar lugar a realidades físicas muy distintas, según sean las condiciones iniciales y las condiciones de frontera del problema en la descripción de un fenómeno (con ecuaciones matemáticas conocidas como ecuaciones diferenciales).

La física actual expone el carácter evolutivo del universo explicando las distintas configuraciones que en cada momento presenta, determinado por las leyes de la materia.

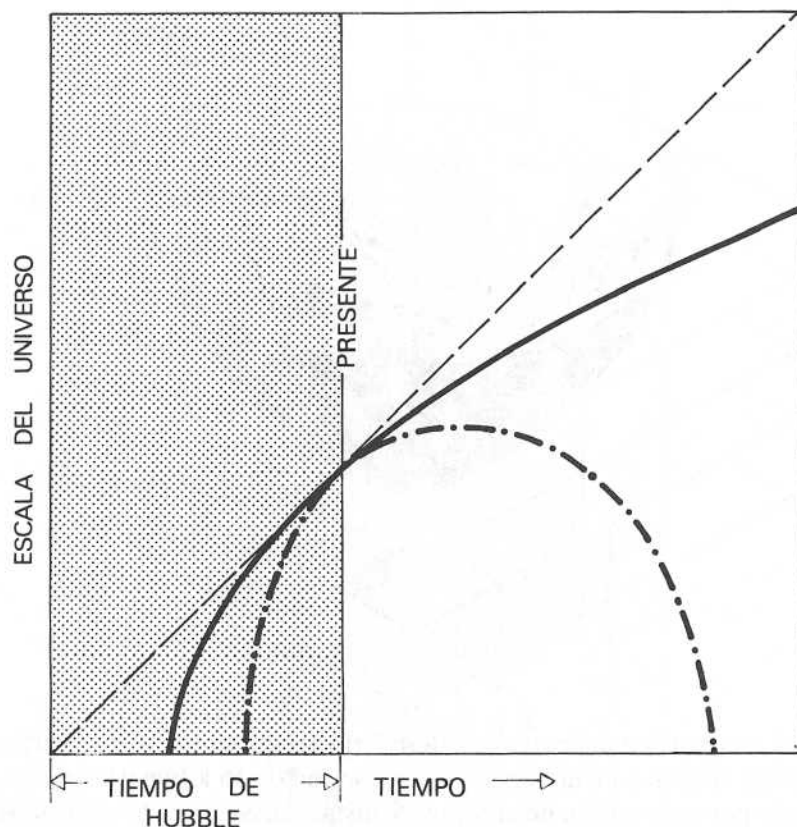
2) El universo presenta una segunda característica: es un sistema en expansión. El fenómeno, descubierto por Hubble, del desplazamiento de las rayas del espectro electromagnético hacia el rojo, ha sido interpretado por casi todos los astrónomos como un efecto Doppler y, por tanto, como testimonio de una verdadera expansión física del universo.¹²



Esta expansión es de velocidad proporcional a la distancia, según una constante (diversamente estimada). Sólo una minoría de astrofísicos interpreta el fenómeno del desplazamiento hacia el rojo como resultado de una degradación energética de los fotones en su trayectoria cósmica (efecto también conocido como "fatiga de fotones") o como una especie de ilusión debida a la estructura del espacio, etc.¹³



La expansión del cosmos se descubrió al constatar que los cuerpos celestes se alejan de la tierra a una velocidad de 15 kilómetros por segundo por cada millón de años luz de distancia. Se trata de un proceso de dilución de la materia en todo el universo. Desde el tiempo cero, todo el espacio del universo ya estaba abarcado por la masa. Lo que produce la expansión es el aumento proporcional de la escala métrica del espacio. La expansión del espacio por dilución se debe al carácter isotrópico del universo, es decir, al hecho de que desde cualquier punto del universo puede observarse el mismo fenómeno, pues en el universo no existen puntos privilegiados.



La Ley de Hubble se deduce midiendo el cociente entre la velocidad y la distancia de muchas galaxias (puntos negros). El mejor cálculo de este cociente (línea continua) da el valor de unos 17 kilómetros por segundo por millón de años luz. Se cree que la velocidad ha disminuido debido a la gravitación. Por eso el cociente es mayor para grandes distancias (líneas a trazos).

INTERPRETACIÓN DEL UNIVERSO COMO UN SISTEMA EVOLUTIVO EN EXPANSIÓN

Los resultados anteriores han recibido distintas interpretaciones, que agrupamos a continuación:

Universo estacionario

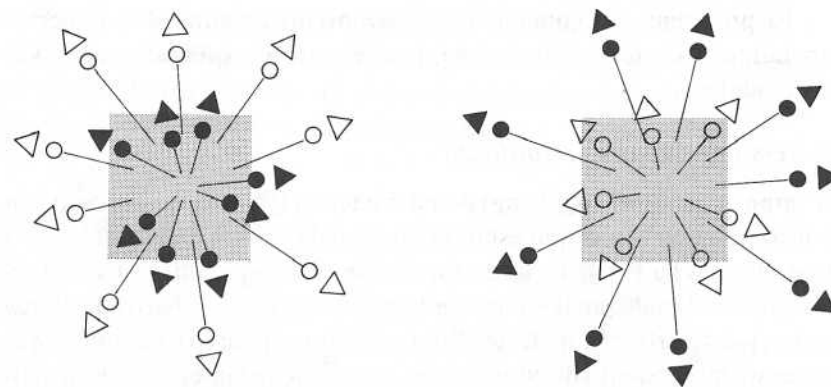
En este modelo el universo permanece prácticamente estable para cualquier observador, independientemente de su ubicación espacial o

temporal. Por eso, se considera que la pregunta por el principio o el término del universo es irrelevante.¹⁴

Para una minoría de astrónomos (Jordan, Hoyle), a pesar de la expansión, la densidad media del universo es constante gracias a una inyección permanente de nueva materia, a un ritmo y cantidad fijos (una especie de creación continua a partir de la nada).

A la mayoría de los astrónomos repugna esta idea. Y si se desecha, entonces se ve que la expansión hace variar la densidad del universo, y remite en el tiempo a un estadio inicial único del que partió la expansión, y con ella la evolución del universo entero. Es un estadio definido por una cantidad de energía y de partículas elementales en una concentración enorme y en gran inestabilidad, tanto material como geométrica.

No se explica cómo ni dónde se crea la materia adicional; la postulación de esa materia viola el principio de la conservación de la masa-energía.



Por otra parte, ofrece una alternativa poco satisfactoria al modelo de la explosión original que encuentra una confirmación en el descubrimiento de la "radiación cósmica de fondo", es decir, con el descubrimiento de una radiación que llega a la tierra en cualquier parte del globo equivalente a la del cuerpo negro a la temperatura de tres grados Kelvin, que en 1965 fue interpretada por los físicos norteamericanos Arno Penzias y Robert Willson (Premio Nobel 1978) como restos de la explosión inicial, que parece explicable sólo en el marco de la teoría de la explosión inicial. Sin embargo, el astrónomo inglés Fred Hoyle, quien sostiene la teoría del estado estacionario, se rehúsa a aceptar el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo (prevista por el cien-

tífico George Gamow) como confirmación de la teoría de la explosión original. Para Hoyle, es posible ofrecer una explicación plausible a la radiación cósmica de tres grados Kelvin, sin que haya necesidad de interpretarla como la resonancia del gran estallido ocurrido al inicio del universo. Según él, en la explosión de una supernova, el núcleo del hierro se pulveriza en forma de diminutas agujas (un milímetro de largo por una diezmilésima de milímetro de ancho). Estas agujas absorben la radiación de microondas de estrellas más jóvenes, las transforman y las emiten de nuevo en forma de "radiación de fondo".

Aunque no se excluye la posibilidad de localizar eventualmente las agujas de hierro, esto resulta altamente improbable, ya que se calcula que en promedio sólo se da una de ellas por cada mil millones de kilómetros cúbicos.¹⁵

Mientras la teoría de Hoyle no pueda ser verificada o rechazada como falsa, la teoría del estallido original parece tener un mayor grado de plausibilidad.

El problema del comienzo y el (eventual) término del universo, dependiendo de las condiciones iniciales, puede explicarse según varios modelos:

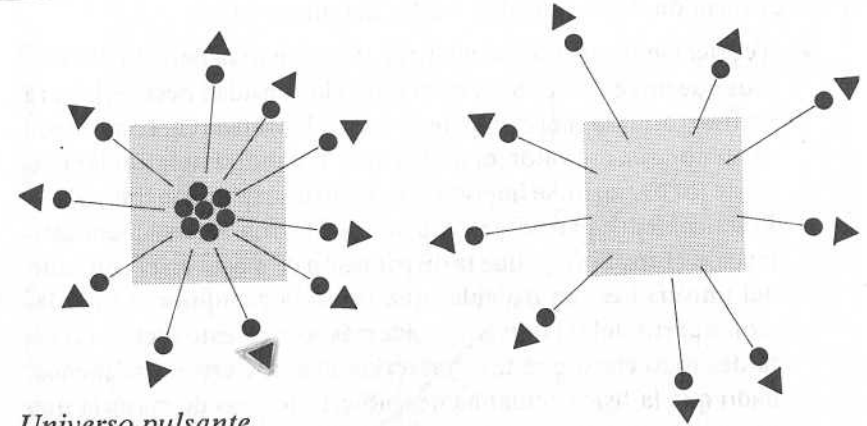
Universo en expansión limitada

La "gran explosión" (*big-bang*) de un núcleo originario superdenso (un "huevo cósmico" en el que estaría condensada toda la "masa-energía") pone en marcha un proceso de expansión, contrapesado por la atracción gravitacional, que la va haciendo más lenta y que, a partir de cierto punto (punto crítico), invierte el movimiento expansivo; comienza entonces un movimiento de contracción por el que la materia se va aproximando a las condiciones iniciales del proceso entero. En el límite se tendría una reproducción del núcleo originario. En este modelo el universo tiene un comienzo y un término temporal finitos.

Universo en expansión ilimitada

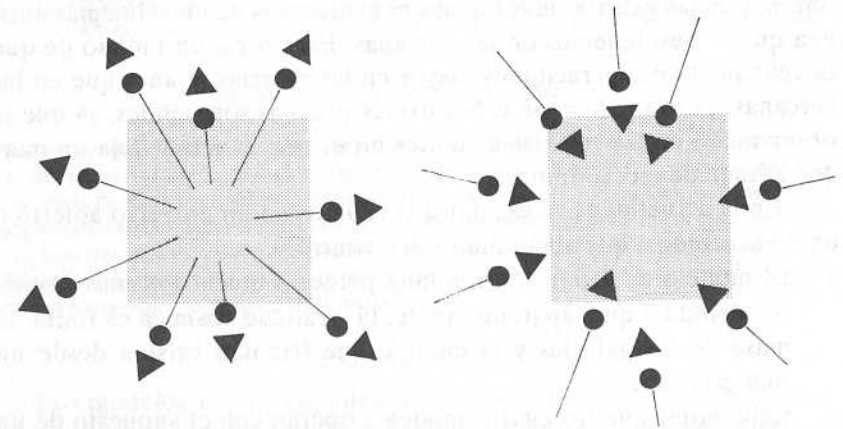
A partir del *big-bang* inicial se da un movimiento de expansión indefinida; la cantidad de materia es insuficiente para invertir, como en el modelo anterior, la tendencia expansiva. Conforme avanza la expansión disminuye progresivamente la densidad de materia en el universo, que en el límite tiende a ser cero. En este modelo el universo tiene

comienzo pero no término, se expande indefinidamente hacia el infinito (después veremos lo que esto puede significar).



Universo pulsante

Se trata de una versión distinta del segundo modelo. Una vez alcanzado el estado original, una nueva explosión causa la repetición del ciclo expansión-contracción, y así indefinidamente. En este modelo no hay ni un comienzo único ni un término único, sino una sucesión ilimitada de pulsaciones de un universo eterno.



La idea del universo pulsante fue creada para eludir el problema metafísico de qué es lo que había antes del *big-bang*; de dónde procede el llamado huevo cósmico, qué es lo que provocó su explosión, etc. Su validez, por tanto, no depende de razones científicas; se trata de una opción no comprobable empíricamente.

Los criterios para elegir un modelo en vez de otro dependen de:

1) La estimación de la densidad media del universo

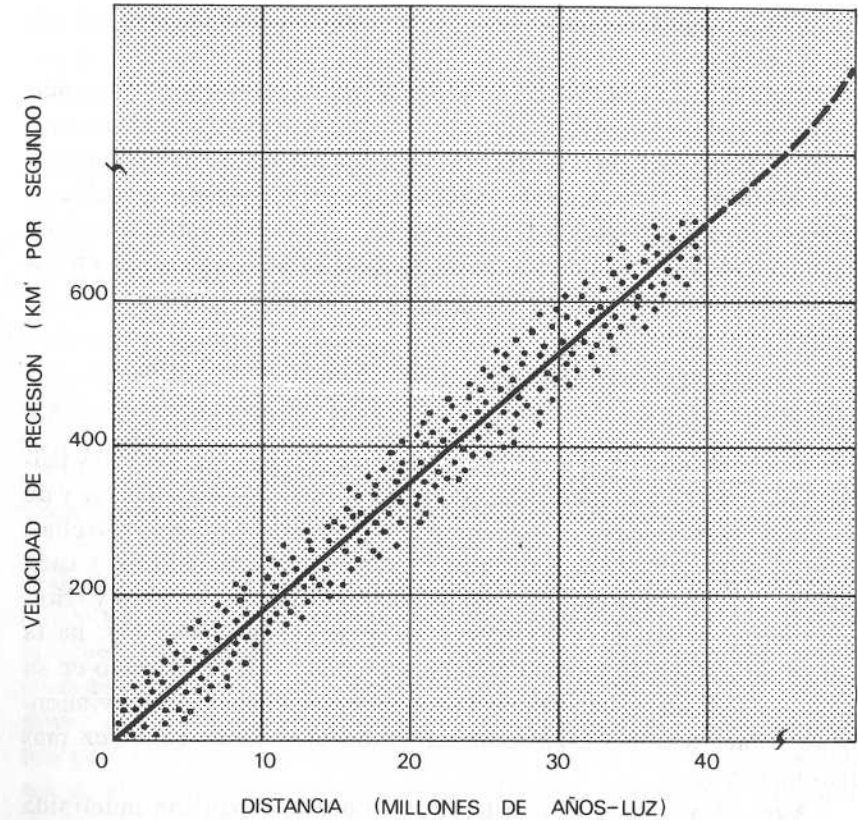
- Teóricamente es posible medirla observando la parcela del cosmos que nos es accesible y calculando la densidad necesaria para contrarrestar la fuerza expansiva. Si la densidad real computada es menor que ese valor, el universo se expandirá indefinidamente; de lo contrario, se impone el modelo de expansión limitada.
- Prácticamente parece una esperanza ilusoria alcanzar esa estimación (Einstein), ya que la distribución de masas en el conjunto del universo es tan irregular que invalida cualquier extrapolación a partir del sector visible; además, aun en este sector, no está del todo claro qué tan "materiales" son ciertos fenómenos, dado que la física actual ha descubierto formas de materia que no caen dentro de la comprensión tradicional de la misma.¹⁶

2) Cálculo del ritmo de desaceleración del universo

Como la fuerza expansiva es mayor en los primeros momentos de la expansión, la velocidad de alejamiento ha de ser mayor en las galaxias más lejanas que en las más próximas, ya que la visión que podemos obtener de las galaxias más lejanas es centenares de años luz más antigua que la que tenemos de las cercanas. Esto sería un indicio de que la velocidad de separación es mayor en las galaxias lejanas que en las cercanas. Pero también en este caso las pruebas son débiles, ya que la observación de las galaxias distantes no es muy exacta y deja un margen grande de incertidumbre.

En la actualidad se desconoce si vivimos en un universo abierto o en uno cerrado... que algún día se va a contraer.

- El modelo de expansión limitada parece a muchos el más plausible debido a que, aparentemente, la realidad cósmica es finita: la masa de las galaxias y la energía que irradian existen desde un tiempo finito.
- Cabe notar que los cuatro modelos operan con el supuesto de un "tiempo universal": una duración homogénea para todo el proceso e independiente de la situación del observador. Pero esto es problemático: la textura del tiempo podría depender del modo en que se ordenan en el universo la materia y sus movimientos. Esto quiere decir que el tiempo no necesariamente es el mismo en todos los puntos del universo.



Los modelos de evolución cósmica describen los cambios en la escala del universo con el paso del tiempo y deben estar de acuerdo con la escala y velocidad de expansión que hoy se observa; de modo que sus respectivas gráficas han de cortar el momento presente. La línea a trazos señala una velocidad de expansión constante. La línea negra continua indica un universo con expansión indefinida y velocidad creciente; la línea de puntos y rayas indica una desaceleración y una expansión que se detiene e invierte su sentido, conduciendo a un posible recolapso (universo pulsante).

- Los modelos 1, 3 y 4 suponen un tiempo infinito, lo cual conduce a contradicciones (Kant). Es decir, desde el punto de vista puramente racional, se puede concluir tanto que el mundo tiene un comienzo en el tiempo como que no lo tiene.¹⁷

En cualquiera de estos modelos la expansión tanto de materia como del espacio geométrico, produce el conjunto de configuraciones que hemos mencionado. La estimación actual de la edad del universo a

partir de la supuesta explosión inicial se estima en diez y ocho mil millones de años.

Suele decirse que, con ello, la física actual demuestra, o cuando menos postula, el comienzo temporal del universo mismo. Pero esto es falso. Como señala Zubiri, "lo único que la física hace es retrotraernos de los estados actuales del universo a un 'estado inicial' respecto de éstos, haya tenido o no existencia anterior la materia misma; lo único que la física dirá es que sus posibles estados anteriores en nada influyen ni tienen que ver con el origen del estado actual".¹⁸

EL FUTURO DEL UNIVERSO

Respecto del futuro del universo, es posible afirmar que las leyes físicas predicen el agotamiento de fuentes de energía en las estrellas y de los gases interestelares de los que pueden generarse nuevas estrellas. El hidrógeno se va transformando en elementos más pesados y cada estrella deja parte de su masa en astros superdensos, oscuros y fríos. Las galaxias tendrán, en consecuencia, menos estrellas activas, hasta que en un tiempo de un orden de un billón de años, el universo en su conjunto será una colección de astros muertos, todavía en movimiento de rotación, y las galaxias continuarán alejándose cada vez más unas de otras.

Aunque no existe respuesta cierta sobre la expansión indefinida del universo, algunos astrónomos se inclinan a pensar que así será. El universo parece tener sólo el diez por ciento de la masa necesaria para que las fuerzas gravitacionales se frenen y detengan la expansión. Un gran número de astrónomos piensa que el 90 por ciento de la masa es "materia oscura", la cual no podemos ver, y que las galaxias se forman donde esa materia es particularmente densa. La influencia de esa materia podría explicar cómo fue que en sus inicios el universo estaba constituido por materia uniformemente distribuida, dando lugar después a una compleja estructura esponjosa. De acuerdo con el estado actual de la observación astronómica, parece poco probable que exista el noventa por ciento no encontrado. Como señala el físico Isaac Asimov, la materia oscura, como su posible influencia en la formación de galaxias, siguen siendo meramente especulativas.

Es probable que en un futuro muy remoto (magnitudes de 10 a 30 años) la mayor parte de la masa estará condensada en lo que se cono-

ce como "agujeros negros", cuya atracción gravitacional impide que aun la luz pueda escapar de su interior. Como estadio final de la evolución de los astros surgirán, según la magnitud de la masa estelar, las estrellas llamadas "enanas blancas" de escasa radiación o, tras expulsar masa mediante una explosión, "estrellas de neutrones" o, tal vez, agujeros negros. Y aunque de la materia transformada en el seno de los astros y expulsada de ellos llegaran a formarse nuevas constelaciones y generaciones de astros, también en éstos se producirían procesos nucleares en los que la materia de las estrellas terminaría por consumirse. En una escala de 1×10 a la cien años, los astros se desintegrarán en un fondo difuso de partículas y radiación muy débil, en un espacio vacío, oscuro y frío. En cuanto a actividad física, puede considerarse este estado como el "fin" del universo. Si se encontrara la masa necesaria para frenar la expansión, comenzaría un período de contracción.

Cabe notar que las bases mismas del modelo cosmológico de la gran explosión están siendo revisadas por algunos científicos tomando en cuenta el estado de la investigación actual. Algunos hechos recientemente descubiertos obligan a reforzar los argumentos que se han considerado decisivos para la aceptación de este modelo, o bien a proponer otros completamente nuevos, capaces de explicar los fenómenos bajo un nuevo ángulo.¹⁹ Con todo, en 1992 se pudo encontrar una nueva confirmación a la teoría de la radiación cósmica de fondo equivalente a tres grados Kelvin. Este dato es decisivo para reforzar la teoría de la gran explosión, pues dentro de ella encuentra el marco de explicación más plausible.

CARACTERÍSTICAS METAFÍSICAS DEL UNIVERSO

Por características metafísicas nos referimos a aspectos que podemos deducir que tiene el universo en general, a partir de la forma en que se dan en él los procesos físicos. Las llamamos metafísicas porque, siendo propias del universo como un todo, no son verificables directamente por el método científico.

1) El universo tiene en sus propias estructuras la capacidad para generar "más" de lo que en un punto espacio-temporal posee. Es decir, puede encerrar *en sí mismo* las posibilidades de su propio devenir, en virtud de las cuales lo más puede emerger de lo menos, debido a

una organización cada vez mayor de las propias estructuras de la materia y de la vida (Rahner).

2) Esto no significa que por sí mismo pueda ser autotranscendente. Es decir, que *por sí misma* la estructura de la materia pueda dar cuenta de la nueva información que en él se genera. Cabe hablar, en consecuencia, de un universo "abierto", es decir, no sujeto totalmente ni al determinismo físico o metafísico, ni cerrado a que de sus propias estructuras pueda devenir no sólo "más" que lo que cósmicamente sea posible (Popper), sino más que lo puramente cósmico.