



En la imagen se ve el campo profundo de las galaxias observado por el telescopio espacial Hubble durante diez días de exposición (cortesía de Robert Williams y el equipo HDF con el apoyo de AURA/STScI y NASA). Más de 2.500 galaxias se aprecian en una pequeña región del cielo, de un minuto de arco de anchura, próxima a la constelación de la Osa Mayor. Los objetos más débiles brillan 4.000 millones de veces menos que las estrellas más débiles que podemos observar en el cielo cada noche a simple vista. Son galaxias distantes, la luz de las cuales surgió, en algunos casos, cuando el universo tenía sólo el 10% de la edad actual y por lo tanto nos muestran como era el universo primitivo.

LA CURIOSA HISTORIA DEL BIG BANG

EL ORIGEN DE LOS ELEMENTOS Y LA ENERGÍA DE LAS ESTRELLAS

José Adolfo de Azcárraga

■ LOS INICIOS DE LA COSMOLOGÍA DE LA GRAN EXPLOSIÓN

La idea del *big bang* o ‘gran estallido’ tiene su origen en los estudios del meteorólogo y matemático ruso Aleksandr Friedmann (1888-1925) y del belga Georges Lemaître (1894-1966). Friedmann mostró en 1922 en la revista *Zeitschrift für Physik* que las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein (sin término cosmológico) admiten soluciones que describen un universo en expansión. Lemaître, que trabajó en Cambridge en 1923 y 1924 bajo la supervisión del gran Arthur Eddington (1882-1944), publicó en 1927, ya en la Universidad de Lovaina, *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques*, que describía un universo de radio creciente. Lemaître consideraba que el universo primitivo estaba constituido por un ‘átomo primigenio’ cuya expansión, “la explosión del huevo cósmico”, originaba el universo actual. La condición de sacerdote de Lemaître dio pie enseguida a interpretaciones teológico-creacionistas de su teoría, pero él mismo trató de separar ciencia y religión, “dos formas de llegar a la verdad” que había decidido “seguir simultáneamente”. Albert Einstein (1879-1955), por su parte, inicialmente hostil a un universo variable, aceptó en 1931 que estaba en expansión cuando el gran astrónomo estadounidense Edwin Hubble (1889-1953) observó que las galaxias se alejan con velocidades proporcionales a su distancia del observador, lo que sugiere un inicio y un origen común para su viaje. Einstein reconoció entonces el valor de las ideas de Friedmann y Lemaître, “el castillo de fuegos artificiales al comienzo del comienzo”, en frase de este último.

■ FRED HOYLE Y EL FALLIDO MODELO ESTACIONARIO

La evolución del pensamiento de Einstein –y que perdiera la gran oportunidad de *predecir* la expansión del universo– es una historia que no nos concierne aquí. Sin embargo, la aceptación final del *big bang* (que antes de recibir ese nombre se llamaba *modelo de evolución dinámica* del universo) es tan interesante como llena de giros inesperados. La teoría inicialmente competitiva, el fallido *modelo estacionario* del universo, fue concebida por Fred Hoyle (1915-2001) en 1948

junto con dos judíos vieneses emigrados, Hermann Bondi (1919-2005) y Thomas Gold (1920-2004), que habían trabajado con él en el radar de la Armada durante la guerra mundial. Hoyle, alumno de Paul Dirac (1902-84) y Rudolf Peierls (1907-95) en Cambridge, decidió dirigir su atención a las estrellas cuando Peierls se trasladó a Birmingham y, además, oyó comentar a Dirac que “en 1926 [el año de oro de la física cuántica], personas corrientes podían hacer grandes contribuciones a los fundamentos de la física; hoy [por 1938] no encuentran problemas importantes

que resolver”. Hoyle propuso en Cambridge un modelo de universo *estacionario* a gran escala, como lo es un río que fluye, que siempre es el mismo aunque no sea *estático*. Su modelo era compatible con la ley de Hubble –la recesión de las galaxias– y describía un universo aproximadamente igual en todas partes, en todas las direcciones y en cualquier tiempo, de acuerdo con el ‘principio cosmológico perfecto’ de Bondi y Gold de 1948. En ese modelo estacionario el universo era eterno, en expansión e inmutable a la vez, siempre en el mismo estado. Esto requería, claro está, una continua creación de materia que, aunque quedaba por

«EL UNIVERSO DESCRITO
POR EL “BIG BANG”,
POSEÍA UN ORIGEN DEFINIDO:
EN SU COMIENZO ERA
INCREÍBLEMENTE DENSO
Y PRÁCTICAMENTE
EN EQUILIBRIO TÉRMICO,
CON UNA ALTÍSIMA
TEMPERATURA, ENFRIÁNDOSE
VELOZMENTE CON EL PASO
DEL TIEMPO»



Fred Hoyle, autor de la teoría del modelo estacionario del universo.



George Gamow estudió el origen de los elementos químicos.

explicar, era mínima: un mero átomo por siglo en un volumen comparable al del *Empire State* neoyorkino. Pero el modelo tenía una virtud: era fácilmente refutable en el sentido popperiano, y las observaciones astronómicas lo pusieron pronto en apuros. El golpe de gracia —el hallazgo de la radiación de fondo— llegaría, sin embargo, de forma inesperada.

El universo descrito por el *big bang*, por el contrario, poseía un origen definido; en su comienzo era increíblemente denso y prácticamente en equilibrio térmico, con una altísima temperatura, enfriándose velozmente con el paso del tiempo. El modelo del *gran estallido* daba, además, la clave para una cuestión esencial: las elevadas temperaturas de los primeros minutos del universo en expansión permitían explicar la aparición de los elementos muy ligeros (deuterio, helios He^3 y He^4) como consecuencia de procesos entre protones, neutrones y electrones, sustancia primordial que el físico ruso-americano George Gamow (1904-68) denominó *ylem*. La historia del origen de los distintos elementos está ligada a la del *big*

bang y merece un comentario pues, conceptualmente, la *nucleosíntesis* es a la aparición de los elementos lo que la teoría de la evolución al origen de las diferentes especies. Al igual que Darwin se preguntó el por qué de su existencia y variedad, era importante explicar la génesis de los distintos elementos de la naturaleza.

**«HOYLE PROPUSO
A CAMBRIDGE UN MODELO
DE UNIVERSO
ESTACIONARIO A GRAN
ESCALA, COMO LO ES
UN RÍO QUE FLUYE,
QUE SIEMPRE ES EL MISMO
AUNQUE NO SEA ESTÁTICO»**

■ GAMOW Y COLABORADORES ENTRAN EN ESCENA

En 1945 Gamow, que se hallaba en la universidad George Washington, tomó a Ralph Asher Alpher (1921-) como doctorando. Alpher era hijo de un emigrado de Odessa (hoy en Ucrania), donde había nacido Gamow, y acababa de perder una beca en el *Massachusetts Institute of Technology* al descubrirse que era judío.

Alpher mostró que la temperatura de los primeros minutos tras el *big bang* podía explicar la gran abundancia de helio en el universo, lo que constituyó un segundo argumento en favor de la *gran explosión* (el primero era la expansión del universo). Gamow y Alpher sometieron a la revista científica *The*

Physical Review su *Origen de los elementos químicos* en 1948. Pero, en una muestra de su peculiar sentido del humor, Gamow decidió que el artículo quedaría mejor añadiendo a otro gran científico, Hans Bethe, como tercer firmante: la pronunciación de los apellidos Alpher, Bethe y Gamow recuerda a las tres primeras letras del alfabeto griego *alfa, beta, gamma* (α, β, γ). A *alfa*, como es natural, no le gustaba la idea de que Bethe firmara también su artículo sin haber colaborado en él: sospechaba, y con razón, que la adición de un segundo peso pesado como autor empujaría su decisiva contribución. Pero un doctorando tiene escaso margen de maniobra ante su director de tesis: Bethe leyó el trabajo, le gustó la broma, y el artículo se publicó con tres autores. Bethe, además, ya tenía *antecedentes*: como joven *fellow* post-doctoral del laboratorio Cavendish de Cambridge había colaborado en 1931 en un trabajo –éste una farsa sin paliativos– que se publicó sin que los editores de *Naturwissenschaften* advirtieran que ridiculizaba una idea de Eddington para deducir el valor de la constante de estructura fina, la que determina la intensidad de la interacción electromagnética¹. Por lo que se refiere al artículo α - β - γ , Gamow cuenta que, cuando éste pasó a ser el punto de partida de cualquier estudio sobre la nucleosíntesis, Bethe consideró seriamente cambiar su nombre por el de Zacarías –para ser citado, al menos, en último lugar.



Ralph Asher Alpher.

«ALPHER MOSTRÓ QUE LA TEMPERATURA DE LOS PRIMEROS MINUTOS TRAS EL “BIG BANG” PODÍA EXPLICAR LA GRAN ABUNDANCIA DE HELIO EN EL UNIVERSO, LO QUE CONSTITUYÓ UN SEGUNDO ARGUMENTO EN FAVOR DE LA “GRAN EXPLOSIÓN”»

■ LA GRAN EXPLOSIÓN Y LA RADIACIÓN DE FONDO: UNA IDEA CON VARIOS PADRES

Alpher y Robert Herman, éste hijo de otro emigrado judío que –de nuevo según Gamow– se negó a cambiar su apellido por Delter para que hiciera juego con la δ que sigue a α, β, γ , mostraron posteriormente que el modelo del *big bang* contenía una predicción espectacular. La radiación –la luz– que llenaba el universo debía observarse hoy, enfriada por la expansión, como una *radiación cósmica de fondo* en la zona de microondas del espectro (así llamada porque corresponde a una banda de longitudes de onda más cortas que las de la VHF del radar del comienzo de la segunda guerra mundial). Sin embargo, esta importantísima predicción cayó en el olvido. Años después, dos radioastrónomos de los laboratorios de la *Bell Telephone*, Arno Penzias (1933-), judío nacido en Munich, y el tejano Robert Wilson (1936-), acabaron convenciéndose de que el ruido de fondo que captaba la radioantena de Holmdel (Nueva Jersey) que estaban calibrando para medir la radiación fuera del plano de la vía láctea, que resultaba imposible de eliminar, existía realmente². En 1965 Penzias y Wilson publicaron en el *Astrophysical Journal* su hallazgo de la *radiación de fondo* que llena el universo, de una temperatura de unos 2'73 °K (grados Kelvin o centígrados sobre el cero absoluto), mencionando que “una posi-

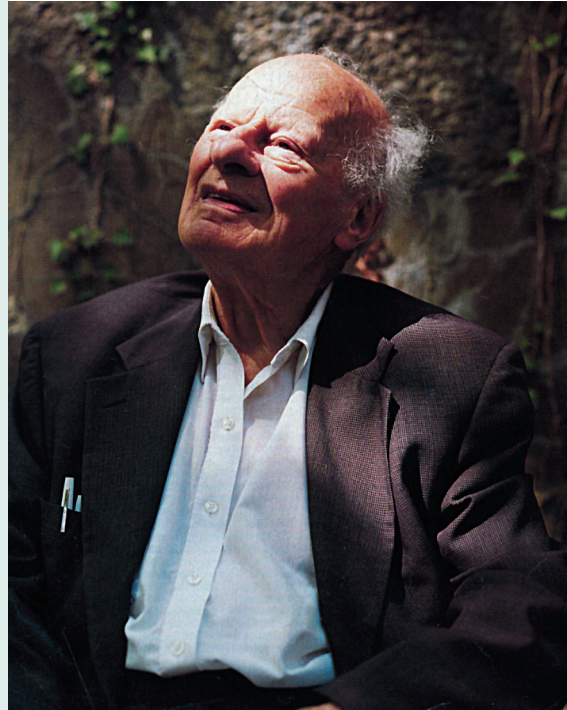
1. Eddington, *la constante de estructura fina y el Apocalipsis de San Juan*. La constante de estructura fina se designa por la letra griega α . Es un número puro, sin unidades, que gobierna la interacción entre partículas con carga eléctrica, y vale (muy aproximadamente) $\alpha=1/137$. Cuando Eddington se ocupó del asunto, se creía que α valía $1/136$. Eddington introdujo entonces la función $f(n)=n^2(1+n^2)/2$ para obtener el inverso de α , que según su teoría, vendría dado por el valor de $f(n)$ para $n=4$, pues $f(4)=136$. Cuando $1/\alpha$ se midió mejor y se vio que valía 137, Eddington *adaptó* su ‘teoría’ sumando una unidad. Pero la numerología es poco científica: con parecida razón cabría considerar la función $f(n)$ como *apocalíptica* y concluir entonces que la interacción electromagnética y el Juicio Final están relacionados. En efecto, los conocidos versículos sobre la Bestia podrían reescribirse así en términos de la función de Eddington: “y vi una bestia saliendo del mar con $f(2)$ [=10] cuernos (*Apoc.* 13:1) ...y le fue concedida autoridad durante $f(3)-3f(1)$ [=42] meses (13:5)... El que tenga inteligencia calcule el número de la bestia, pues tiene número de hombre: es $f(6)$ [=666] (13:18)”. Así pues, la función $f(n)$ de Eddington determinaría (casi) el inverso de la constante de estructura fina para $n=4$ y, exactamente, el número de la bestia para $n=6$. El número de juegos que se puede hacer con los números enteros es, en verdad, infinito, pero sólo sirve para mantener ocupados a los *adictos* a la numerología. Valga como comentario final que medidas más precisas establecieron que $1/\alpha$ vale $137'036$, que ni siquiera es entero: *the devil is in the detail*.

2. En el *Smithsonian National Air and Space Museum* se halla la trampa para palomas que Penzias y Wilson instalaron para evitar que los excrementos de las aves (el ‘material dieléctrico blanco’, como decía Penzias eufemísticamente) contaminaran el radiotelescopio. Ésta fue una de las medidas que tomaron para eliminar la misteriosa radiación de fondo que parecía perturbar el correcto funcionamiento de la antena y que nosotros también podemos observar, pues es –en una pequeña parte– la responsable de la ‘nieve’ en la pantalla de un televisor no sintonizado. Recientemente ha sido medida con extraordinaria precisión por los satélites COBE (*Cosmic Background Explorer*, 1992) y WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*, 2001), y en especial su levísima –pero muy importante– anisotropía. En esas minúsculas desviaciones respecto de la completa uniformidad está el germen de las galaxias, de las estrellas, los planetas y, extremando el razonamiento, de la vida.

HANS A. BETHE (1906-2005) Y LA ENERGÍA DE LAS ESTRELLAS

Cuando Bethe firmó el artículo α - β - γ era ya un científico ilustre, entre otras razones, por su estudio sobre la producción de energía en las estrellas, iniciado con el artículo *Formación de deuterones por combinación de protones* (1938) con C. L. Critchfield. La fusión de dos protones (p - p) ya había sido sugerida por Carl von Weizsäcker (1912-) en 1937, y Bethe y Critchfield la utilizaron para explicar la producción de energía solar. Ésta se inicia con la fusión p - p de dos protones que da lugar a deuterio H^2 (un núcleo de hidrógeno –un protón p – con un neutrón adicional) con emisión de un positrón y un neutrino (que entonces Bethe y Critchfield no podían considerar). El proceso acaba con la producción de helio He^4 , que posee dos protones y dos neutrones y por tanto tiene número de masa $A=2+2=4$, a través del isótopo He^3 (dos protones y un solo neutrón, $A=3$). Ésta es la cadena p - pI ; en un 15% de los casos, en la cadena p - pII , interviene además el berilio Be^7 y el litio Li^7 (también es posible otra cadena en el Sol, la p - $pIII$, pero sólo contribuye un 0'02%). Afortunadamente para nosotros, la cadena p - p es un proceso muy lento, lo que permite que el Sol brille y nos caliente todavía. Bethe, además, descubrió en 1939 el ciclo carbono-nitrógeno-oxígeno-carbono, en el que el C, el N y el O actúan repetidamente como catalizadores en la combinación de cuatro protones que acaba produciendo también He^4 (junto con electrones y neutrinos) y energía. El ciclo CNO domina completamente la liberación de energía en las estrellas grandes, cuya temperatura interior supera los 18 millones de grados, que es la del núcleo de estrellas con una masa de una vez y media la del Sol. Éste –y otras estrellas igualmente ‘ligeras’– producen la mayor parte de su energía a través de la cadena p - pI antes citada.

Bethe recibió *en solitario* el Nobel de 1967, el primero en el campo de la astrofísica, y el actual modelo solar se basa en sus ideas de 1938 y 1939. Incluso un serio problema de los años setenta, la escasez de los neutrinos (*todos* de ‘tipo electrón’)

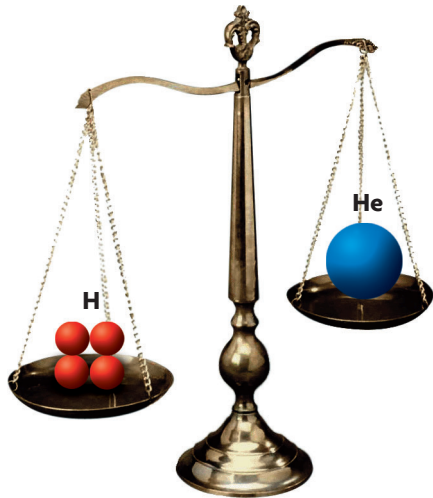


Hans A. Bethe (la letra beta en el artículo de Alpher y Gamow).

**«BETHE RECIBIÓ
EN “SOLITARIO” EL NOBEL
DE 1967, EL PRIMERO
EN EL CAMPO DE
LA ASTROFÍSICA,
Y EL ACTUAL MODELO
SOLAR SE BASA EN SUS
IDEAS DE 1938 Y 1939»**

que debían producirse en las reacciones p - p o CNO en el núcleo solar, observada en un laboratorio subterráneo situado en la mina de oro *Homesake*, en South Dakota, ha quedado resuelto considerando las oscilaciones entre los *distintos* tipos de neutrinos. Como confirmó en 2001 el *Sudbury Neutrino Observatory* canadiense, la emisión de neutrinos de todos los tipos por el Sol es consistente con la producción de electrones de tipo electrón en el núcleo solar. El propio Bethe analizó en 1990 (junto con John Bahcall, fallecido también en 2005) la necesidad de tener en cuenta la ‘nueva física’ –las oscilaciones entre distintos tipos de neutrinos que no son posibles en el *modelo estándar* de las interacciones de partículas– para resolver, finalmente, el problema de los neutrinos solares.

J. A. DE A.

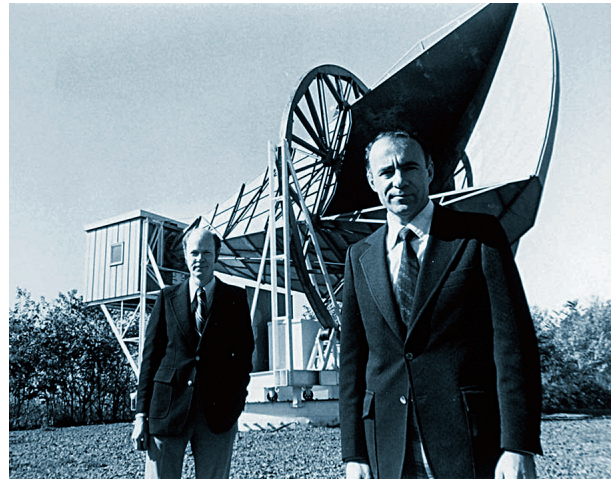


La “quema” de hidrógeno libera energía porque el helio He^4 resultante es más ligero que cuatro núcleos de hidrógeno. A causa de este fenómeno, Eddington ya había sugerido en 1920 que la “quema” de hidrógeno podría ser la fuente de la energía solar.

ble explicación del exceso de temperatura del ruido [era] la dada por Dicke, Peebles, (P. G.) Roll y (D. T.) Wilkinson en una carta en [ese] mismo número”. Y es que, para entonces, Penzias y Wilson ya conocían las importantes implicaciones cosmológicas de su accidental descubrimiento a través de Robert Dicke (1916-97) y Philip John Peebles (1935-). Éstos también habían predicho en Princeton la existencia de esa radiación, sin conocer las investigaciones pioneras de Gamow, Alpher y Herman de diez años antes (también lo hicieron en 1964 A. Doroshkevich e I. Novikov en la URSS, sugiriendo incluso que ¡la antena de los laboratorios Bell podría buscarla!). Dicke y sus colegas, que antes de hablar con Penzias habían comenzado incluso a buscar la radiación de fondo ellos mismos, explicaban en su artículo la conexión del descubrimiento de Penzias y Wilson con el *big bang*, que quedaba así definitivamente establecido. Según Eddington, “nunca se debe confiar completamente en una observación sin tener al menos una teoría para explicarla”; en este caso la observación –la radiación de fondo– y la teoría –el *gran estallido*– estaban en perfecto acuerdo. De los precursores del *big bang*, sólo Lemaître vivía aún para saborear el momento.

Inicialmente, los partidarios del estado estacionario argumentaron que esa radiación de fondo podía ser resultado de la dispersión por galaxias lejanas, pero su gran homogeneidad –inalcanzable por esa difusión– hizo que la radiación de fondo se aceptara pronto como la tercera y definitiva corroboración del *big bang* (aun-

«LA RADIACIÓN DE FONDO SE ACEPTÓ PRONTO COMO LA TERCERA Y DEFINITIVA CORROBORACIÓN DEL “BIG BANG”»

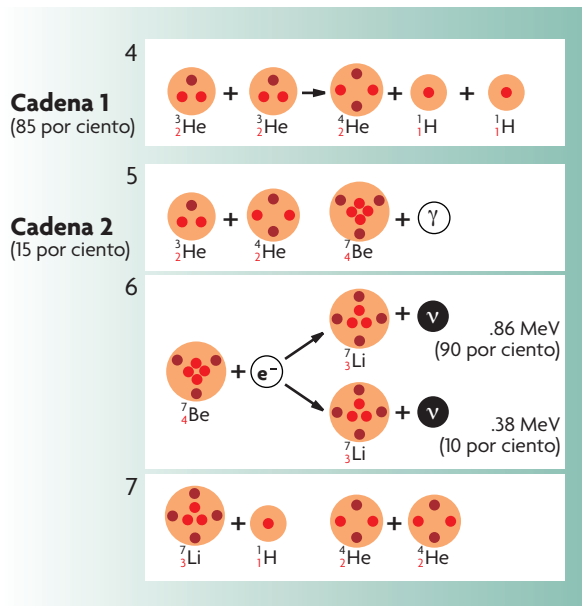


Penzias y Wilson, los dos radioastrónomos ganadores del Nobel por su hallazgo de la radiación de fondo.

que entonces el modelo tenía ya poco que ver con la sofisticada teoría de hoy, con su período inicial de *inflación* o rapidísima expansión en los primeros instantes, sus transiciones de fase y todas las implicaciones de la física actual). Cuando finalmente se conoció la historia completa de la radiación de fondo, Penzias escribió a Gamow, que para entonces trataba de reivindicar la prioridad en su predicción. Gamow le respondió con una historia detallada y un comentario: “como ves, el mundo no comenzó con el todopoderoso Dicke”. Alpher se sintió aún más postergado. Pero Penzias y Wilson recibieron el Nobel en 1978 y, en su discurso de aceptación, Penzias hizo una detallada descripción histórica en la que el trabajo de Alpher, junto con el de Gamow y Herman, recibió por fin el merecido reconocimiento.

■ **EL ‘ORIGEN DE LAS ESPECIES NUCLEARES’ O TEORÍA DE LOS ELEMENTOS PESADOS**

Queda aún algo por aclarar: la nucleosíntesis u origen de los elementos pesados. Gamow y colaboradores no habían podido llegar más allá de la síntesis del helio. La inmensa mayoría del He^4 del universo es de origen cosmológico y se produce unos tres minutos largos tras el *big bang*, cuando se ha enfriado desde unos increíbles 10^{32} °K a menos de 10^9 °K y ya se ha formado deuterio; Gamow ya había observado en 1948 que a mayor temperatura la energía de los fotones impediría la formación de elementos pesados. Cuando cerca de

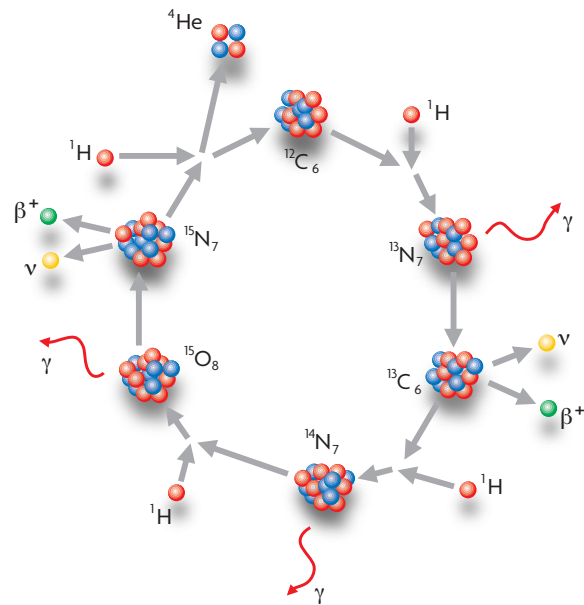


Las cadenas p-pI (1) y p-pII (2).

un millón de años tras el *big bang* se formaron las estrellas, la materia del universo estaba constituida fundamentalmente por una cuarta parte de helio y casi todo el resto por hidrógeno. Una pequeña fracción del helio era resultado de la *quema* de hidrógeno en las estrellas que, como hemos visto, también produce helio (y libera energía). Sin embargo, todo intento de ir más allá del He⁴ tropezaba con núcleos inestables que impedían continuar con la formación de núcleos más pesados. Hoyle –el líder de la teoría del universo estacionario– jugó un papel decisivo en la solución de este problema... y en el propio nombre del *big bang*. En 1949, en una charla radiofónica de divulgación por la BBC, Hoyle utilizó el nombre de *big bang* para ridiculizar la idea de un universo en expansión creado por un gran estallido inicial. Pero no calibró que su malintencionada expresión era, en realidad, una excelente caracterización del modelo, por lo que cuajó enseguida: Hoyle, el irreconciliable enemigo de la cosmología del *big bang*, fue irónicamente quien la bautizó.

Por lo que respecta a la nucleosíntesis, la primera dificultad era superar el ‘cuello de botella’ que representaba el número de masa A=5 y poder explicar la

«EN UNA CHARLA
RADIOFÓNICA, HOYLE
UTILIZÓ EL NOMBRE
DE “BIG BANG” PARA
RIDICULIZAR LA IDEA DE UN
UNIVERSO EN EXPANSIÓN.
EL IRRECONCILIABLE
ENEMIGO DE
LA COSMOLOGÍA DEL “BIG
BANG” FUE, IRÓNICAMENTE,
QUIEN LA BAUTIZÓ»



Los procesos del ciclo CNO.

formación del carbono-12 (C¹²) a partir del berilio-8 (Be⁸) y el He⁴; el isótopo Be⁸, formado en las estrellas a partir de dos He⁴, es muy inestable y no puede capturar un tercer He⁴ para formar el carbono C¹² ordinario antes de desintegrarse. Hoyle se dio cuenta en 1954

de que el C¹² podía generarse, pese a todo, a través de una ‘captura resonante’ que requería la existencia de un estado excitado del carbono. El problema era que ese estado, que permitiría más fácilmente la unión del berilio y el helio, era desconocido. Pero, si el carbono se había originado realmente a partir de núcleos más ligeros, ese estado excitado del C¹² debía existir: de otro modo la producción de carbono, muchísimo más lenta, no hubiera dado lugar a su abundancia actual. Hoyle calculó que ese estado excitado debía tener un poco más de energía (7.65 MeV) que el carbono ordinario. Se podría pensar entonces en continuar y obtener el oxígeno O¹⁶ por la adición de otro He⁴ al C¹², pero en este caso al estado del O¹⁶ le *faltaba* energía, y afortunadamente: esa reacción habría disminuido drásticamente la abundancia del carbono en favor de la de oxígeno e impedido el desarrollo de la vida. Así pues, según Hoyle, la síntesis de núcleos más complejos sería resultado de tres

formación del carbono-12 (C¹²) a partir del berilio-8 (Be⁸) y el He⁴; el isótopo Be⁸, formado en las estrellas a partir de dos He⁴, es muy inestable y no puede capturar un tercer He⁴ para formar el carbono C¹² ordinario antes de desintegrarse. Hoyle se dio cuenta en 1954 de que el C¹² podía generarse, pese a todo, a través de una ‘captura resonante’ que requería la existencia de un estado excitado del carbono. El problema era que ese estado, que permitiría más fácilmente la unión del berilio y el helio, era desconocido. Pero, si el carbono se había originado realmente a partir de núcleos más ligeros, ese estado excitado del C¹² debía existir: de otro modo la producción de carbono, muchísimo más lenta, no hubiera dado lugar a su abundancia actual. Hoyle calculó que ese estado excitado debía tener un poco más de energía (7.65 MeV) que el carbono ordinario. Se podría pensar entonces en continuar y obtener el oxígeno O¹⁶ por la adición de otro He⁴ al C¹², pero en este caso al estado del O¹⁶ le *faltaba* energía, y afortunadamente: esa reacción habría disminuido drásticamente la abundancia del carbono en favor de la de oxígeno e impedido el desarrollo de la vida. Así pues, según Hoyle, la síntesis de núcleos más complejos sería resultado de tres

hechos *afortunados*: la gran inestabilidad del Be^8 , la existencia del nivel resonante del C^{12} por *encima* de la energía de $\text{Be}^8 + \text{He}^4$ y que el nivel potencialmente peligroso del O^{16} estuviera por *debajo* del umbral de $\text{C}^{12} + \text{He}^4$. Estos niveles son extraordinariamente sensibles a los valores de las constantes que determinan la repulsión eléctrica de los protones y la fuerza nuclear que liga protones y neutrones en el núcleo. Por ello, este ‘finísimo ajuste’ se ha usado –creo que erróneamente– como una justificación del *principio antrópico* (que en esencia condiciona las leyes de la física a que pueda existir la vida), idea que ha reverdecido hace poco, inesperadamente, en la moderna teoría de supercuerdas; sus antecedentes, por tanto, se remontarían a Hoyle.

■ WILLIAM FOWLER Y UN NOBEL PARCIALMENTE INJUSTO

Pero volvamos a la crucial resonancia del carbono. Hoyle, de visita en *Caltech* en Pasadena en 1953, persuadió al físico experimental William A. Fowler (1911-1995) para que la buscara con un argumento irresistible para cualquier científico: si la predicción era errónea se podría descartar enseguida y, si resultaba cierta, Fowler habría hecho un descubrimiento trascendental. La búsqueda era más que rentable, y Fowler, que al principio miraba con considerable recelo a Hoyle, concluyó que valía la pena invertir una semana o dos en su propuesta. Siempre es mejor saber dónde buscar que hacerlo a ciegas, y Fowler encontró el estado excitado del carbono en pocos días, exactamente con la energía prevista. Salvada ya la barrera de la generación carbono, Hoyle y Fowler (junto con el matrimonio Burbidge, George y Margaret) explicaron finalmente la aparición de los distintos elementos en un monumental trabajo, *Synthesis of the elements in stars*, publicado en 1957 en el *Review of Modern Physics*. En ese clásico y larguísimo artículo (conocido como B²FH por las iniciales de sus autores) se estudiaban las reacciones nucleares que daban lugar a los distintos elementos, concluyendo que era “posible explicar, de forma general, las abundancias de prácticamente todos los isótopos de los átomos, desde el hidrógeno al uranio, por medio de su síntesis en las estrellas y las supernovas”, cuya explosión también estudió Hoyle.



William A. Fowler ganó el Nobel que también merecía Fred Hoyle.

«FOWLER RECIBIÓ LA MITAD DEL NOBEL DE FÍSICA DE 1983. FUE UN NOBEL PARCIALMENTE INJUSTO: HOYLE DEBIÓ HABERLO RECIBIDO CON FOWLER. QUIZÁ LA ARISCA PERSONALIDAD DE HOYLE LE GANÓ ENEMIGOS EN EL ENTORNO DEL COMITÉ NOBEL»

Los procesos nucleares que intervienen en la generación de los diversos elementos son muchos, y están estrechamente interrelacionados con las distintas temperaturas del interior de las estrellas y su evolución, lo que hace que la nucleosíntesis sea muy compleja. De acuerdo con una humorística *Génesis según Gamow*, quien pese a sus críticas a la teoría del estado estacionario tenía a Hoyle en alta estima, “Dios dijo: hágase a Hoyle. Y Hoyle fue hecho. Y Dios le miró y le pidió que creara los elementos pesados como le complaciera. Y Hoyle decidió hacer los elementos pesados dentro de las estrellas, y esparcirlos utilizando las explosiones de supernovas [...] Y así, con la ayuda de Dios, Hoyle hizo los elementos pesados, pero todo acabó siendo tan complicado que hoy día ni Hoyle, ni Dios, ni nadie, es capaz de averiguar exactamente cómo se originaron”.

El problema de la nucleosíntesis, primero del helio como consecuencia del *big bang*, y luego de los elementos pesados dentro ya de las estrellas, quedaba resuelto a grandes rasgos por B²FH. Como consecuencia, Fowler recibió la mitad del Nobel de física de 1983 “por sus estudios teóricos y experimentales sobre las reacciones nucleares importantes en la formación de los elementos químicos del universo” (la otra mitad fue para el indio S. Chandrasekhar (1910-95), de la universidad de Chicago, “por sus estudios teóricos de los procesos físicos importantes para la estructura y evolución de las estrellas”). Fue un Nobel parcialmente injusto: Hoyle debió haberlo recibido con Fowler, quien lamentó que no fuera así. Quizá la arisca personalidad de Hoyle le ganó enemigos en el entorno del comité Nobel: Hoyle, por ejemplo, había protestado enérgicamente cuando el premio de 1974, que recibieron sus colegas de Cambridge Martin Ryle (1918-84) “por sus observaciones e invenciones” (en el campo de la radioastronomía) y Anthony Hewish (1924-) “por sus contribuciones decisivas al descubrimiento de los *pulsares*”, no incluyó a la norirlandesa Susan Jocelyn Bell (1943-). Bell, discípula de Hewish, era quien había detectado e identificado por primera vez, en febrero de 1968, las señales de un *pulsar* (*pulsating radio star*), estrella de neutrones que gira muy rápidamente y que emite pulsos de radio-ondas desde los polos de su intenso campo magnético, de modo semejante a los destellos de luz emitidos por un faro. Hoyle no fue el único que cuestionó el Nobel; también lo hizo el gran astrofísico Irwin Shapiro, lo que quizá le costó, a su vez, compartir el Nobel de 1993 que recibieron J. H. Taylor (1941-) y su antiguo doctorando R. A. Hulse (1950-) por un nuevo tipo de pulsar (en un sistema binario) y sus implicaciones para la existencia de las ondas gravitatorias.

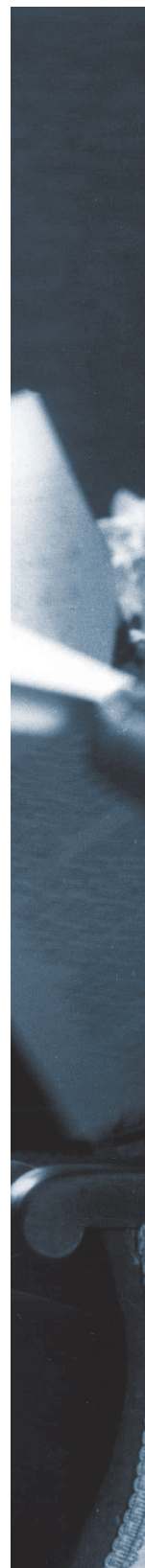
■ EL CREPÚSCULO DEL IRREDUCTIBLE HOYLE Y LA PANSPERMIA

En 1967 Hoyle creó el famoso *Institute of Astronomy* de Cambridge, en cuyo patio se puede contemplar hoy una efigie suya. Sin embargo, el brillante y polémico Hoyle había ido quedándose paulatinamente ais-

lado, frustrado por la falta de reconocimiento. Sus frecuentes charlas de divulgación ironizando sobre el *big bang* tampoco contribuían a una buena relación con sus colegas, en particular con Hewish y el impulsivo Ryle; precisamente las observaciones de Ryle, realizadas con su radiotelescopio, habían puesto seriamente en tela de juicio el modelo estacionario de Hoyle ya en 1961. Este mal clima incomodaba a la propia universidad de Cambridge, molesta por las discusiones públicas entre tres de sus mejores científicos. Quizá el *yorkshireman* y su fuerte acento no acababan de encajar en la altiva Cambridge; Hoyle recuerda algo a Richard Feynman (1918-88), igualmente de origen modesto, no menos brillante y con marcado acento neoyorkino. Como Hoyle, Feynman vio su carrera interrumpida por la guerra (trabajó en Los Alamos bajo la dirección de Bethe y J. R. Oppenheimer) e, igualmente, fue buen divulgador e irreverente con toda autoridad establecida. También, como señala mi amigo y colega Jon Marcaide, hubo en Hoyle trazas del gran Galileo Galilei (1564-1642), amante del buen vino, la conversación y la polémica.

Hoyle reconoció que la radiación de fondo constituía un problema para la cosmología del estado estacionario, pero no dio su brazo a torcer y fue añadiendo *epiciclos* a su modelo para tratar de salvarlo. Siempre consideró el *big bang* poco verosímil, al igual que la aparición de la vida a partir de la materia inanimada, idea que juzgaba lo suficientemente disparatada como para “enterrar a Darwin y a toda la teoría de la evolución”. Curiosa y aparentemente conservadora actitud en cosmología y en biología, en quien –desde que hacía novillos en la escuela– era un rebelde nato. En 1972 Hoyle recibió el título de *Sir* y, con sólo 57 años, dimitió de sus cargos, incluyendo la *Plumian professorship of Astronomy and Experimental Philosophy* que había obtenido en 1958, una de las cátedras más antiguas e ilustres de Cambridge: antes la había ocupado Eddington y, tras Hoyle, la tuvo Martin Rees (1942-), *Astronomer Royal* y actual *Master* del *Trinity College* de Cambridge (hoy es de Jeremiah Ostriker, autor, con Paul Steinhardt, de un modelo del universo con un 70% de la misteriosa *energía oscura*). Hoyle se convirtió en científico errante y acabó investigando en su

«HOYLE SE CONVIRTIÓ
EN CIENTÍFICO ERRANTE
Y ACABÓ INVESTIGANDO
EN SU CASA. EN SUS
ÚLTIMOS AÑOS PROMOVÍO
LA ANTIGUA IDEA
DE LA PANSPERMIA.
SEGÚN ESTA VISIÓN,
EL ORIGEN DE LA VIDA
ES EXTERIOR A LA TIERRA»





Fred Hoyle siempre consideró la idea del *big bang* poco verosímil.

casa. En sus últimos años promovió, en colaboración con Chandra Wickramasinghe (1930-), la antigua idea de la *panspermia*, ya considerada por el presocrático Anaxágoras y después por Hermann von Helmholtz (1821-94), William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1907) y el Nobel (1903) de química Svante Arrhenius (1859-1927). Según esta visión, el origen de la vida es exterior a la Tierra: “si la generación espontánea no es posible... la vida en la Tierra tiene que haber procedido del exterior”, afirmaba Hoyle. Lord Kelvin había sugerido que los meteoritos podían transportar esporas por el espacio, idea no ajena al anuncio de la NASA en 1996 –luego no confirmado– de que el meteorito (ALH)84001 originado en Marte contenía microorganismos fósiles. Quizá Hoyle ya pensaba en la panspermia cuando, en 1957, escribió su mejor novela de ciencia ficción, *La nube oscura*. Para Hoyle la idea de que la vida había nacido y evolucionado en nuestra insigni-

«PARA HOYLE LA IDEA DE QUE
LA VIDA HABÍA NACIDO
Y EVOLUCIONADO EN NUESTRA
INSIGNIFICANTE TIERRA,
AL MARGEN DEL VASTO UNIVERSO
EN EL QUE SE ENCUENTRA,
NO ERA SINO UN PREJUICIO
'PRE-COPERNICANO' DEL QUE HABÍA
QUE LIBERARSE»

ficante Tierra, al margen del vasto universo en el que se encuentra, no era sino un prejuicio ‘pre-copernicano’ del que había que liberarse. No fue, pues, conservadurismo su rechazo de Darwin, sino la última rebeldía de su indomable personalidad. ☺

BIBLIOGRAFÍA

- DELSEMME, A., 1999. *Our cosmic origins*. Cambridge University Press.
HOYLE, F.; WICKRAMASINGHE, C., 1981. *Evolution from space*. Paladin.
PADMANABHAN, T., 1998. *After the first three minutes*. Cambridge University Press.
PENZIAS, A., *Nobel Lecture* (8-XII-1978).
SINGH, S., 2004. *Big Bang. Fourth State*.
WEINBERG, S. *The first three minutes*. Basic Books (segunda edición, 1988).

José Adolfo de Azcárraga. Catedrático de Física Teórica, Universitat de València e IFIC (CSIC-UVEG).