

Acerca del Big Bang y el origen del Universo

No hubo ninguna explosión en el inicio del cosmos

Emilio Elizalde

En este artículo se intenta describir, de manera fácilmente inteligible y siempre de acuerdo con la física actual, el denominado Big Bang: qué fue lo que en realidad pudo ocurrir cuando se originó nuestro universo.

*Y Dios dijo: "Hágase la luz". Y se hizo la luz.
Y Dios vio que la luz era buena, y la separó de la oscuridad.
Y a la luz Dios la llamó "Día", y a la oscuridad "Noche".
Y hubo un atardecer y una mañana, el primer día.*

Del libro del Génesis.

La idea, que hoy sabemos que es errónea, de que hubo un gran estallido en el origen del cosmos sigue tan arraigada en la conciencia popular que resulta extraordinariamente difícil cambiarla. Aunque los físicos/as debemos intentarlo. Y eso es precisamente lo que se pretende en este breve artículo. Contiene una descripción actualizada, incorporando todos los conocimientos científicos que poseemos hoy en día, sobre lo que realmente pudo ocurrir cuando se originó nuestro universo.

Introducción

Sea cual sea la lectura que se haga de ellos, resulta difícil no dejarse cautivar por la extraordinaria belleza de los versículos del Génesis. No importa que los eruditos hayan descubierto que fueron adaptados de descripciones mucho más antiguas de la mitología mesopotámica; ni que podamos objetar que esta narrativa no se sostiene de ninguna manera con los conocimientos que se enseñan actualmente en las escuelas y universidades. De hecho, hay muchísimos libros escritos, con orientaciones muy diversas, donde se establecen estas comparaciones, en las que aquí no voy a entrar (haré sólo una, eso sí). Para escoger un par, de libros, daré las referencias de los de Brooke [1] y Suau [2].

¿Quién no ha oído a estas alturas hablar del Big Bang? Esas dos palabras, en inglés, son las que de alguna manera han sustituido en nuestro bagaje cultural al relato del Génesis sobre la creación del cosmos. Otra cosa es la parte de la misma narración bíblica que se refiere a la creación de los seres vivos, y del hombre y de la mujer. De ello se han hecho cargo las teorías darwinianas.

Al Big Bang me he referido ya numerosas veces. He abordado el tema en diversas conferencias, artículos y presentaciones y éste fue precisamente el título de mi primera contribución al *blog* que tengo en *Divulcat* [3]. Pero, día a día me doy cuenta, hablando incluso con compañeros/as de

profesión, de que aún me he ocupado demasiado poco del tema. La idea (completamente errónea con arreglo a lo que ahora sabemos) de que hubo un gran estallido en los inicios del cosmos sigue tan arraigada que cuesta mucho cambiarla. Está claro que a ello contribuye especialmente el significado literal del término *Big Bang*. Antes de dar, una vez más (esperando que sea la definitiva), la descripción científica actual de lo que sucedió en el origen del universo, la que está de acuerdo con nuestros conocimientos actuales (habiendo entrado ya en el año vigesimoprimer del nuevo milenio) repetiré el relato que encontramos aún en todas partes y que los científicos hemos visto que no se corresponde con los hechos. Corresponde a la ciencia de hace la friolera de noventa años, la de los años treinta del siglo xx, y mucho ha llovido desde entonces en todos los campos del conocimiento, y en éste en particular.

El relato del gran estallido (que jamás tuvo lugar)

Iré directamente al grano y no repetiré lo que ya he explicado en otras ocasiones con mayor detalle (véase, en particular, mi libro [4]). La descripción (falsa), extraordinariamente popular y que se vende como si tuviera una base científica sólida, es la que sigue (Fig. 1). Todo el universo se reducía, en el principio de los tiempos, a un "*átomo primigenio*" o "*huevo cósmico*" (enormemente pequeño, con respecto al universo actual, pero muy grande en comparación a un átomo de verdad). Tenía, por supuesto, una densidad y una temperatura mucho mayores de lo que podamos imaginar. En el origen del tiempo, este átomo estalló con gran estruendo, esparciéndose la materia y la energía que contenía por todo el universo y dando origen además a la expansión que todavía ahora detectamos los cosmólogos. Esta explosión descomunal recibe el nombre de *Big Bang*, palabras que literalmente significan en inglés "*gran explosión*". ¡Y eso es todo!

Tal descripción se debe a Georges Lemaître; se remonta, repito, a la década de 1930 y tiene muy poco que ver con lo que sabemos ahora. Sin embargo, al ser tan simple, algo misteriosa, desde luego, pero creíble, y como el modelo cosmológico sigue recibiendo el nombre de modelo de Big Bang y, como es bien cierto que Big Bang significa de hecho gran explosión, resulta que no hay manera humana de borrar esta caricatura inverosímil y totalmente equivocada de lo que ocurrió en el origen



Fig. 1 La gran explosión en el origen del universo ¡que nunca ocurrió!

del cosmos. Y la seguimos encontrando en libros, encyclopedias, artículos, páginas web y blogs por doquier. Ni siquiera los especialistas se atreven a desmontarla, a veces cuando hablan para el gran público, según yo mismo he podido comprobar en diversas ocasiones; bien sea por no ir contra corriente o por falta del tiempo necesario para embarcarse en una descripción detallada sobre este punto, cosa que no resulta sencilla. Y la burda simplificación se sigue imponiendo. Todo ello me entristece mucho y hace que considere mi deber perentorio insistir una vez más sobre esta importante cuestión.

Para empezar, disfrazándome del genial Dalí e imitando su voz engolada me atrevo a formular la pregunta: ¿De dónde salió la gallina que puso aquel “huevo cósmico”?

Ahora más en serio, pocos años después de la formulación de este modelo, los físicos nucleares se dieron cuenta ya de que no había por donde cogerlo. Era imposible que toda la materia-energía del cosmos pudiera haber estado concentrada (yo prefiero decir *jibarizada*) en un átomo primigenio, por muy diversas razones que aquí no detallaré¹. Y, para terminar este apartado, es bueno saber que ya cuando Fred Hoyle, el mismísimo *autor* de la expresión “Big Bang”, pronunció estas palabras por primera vez, expresó muy claramente que *no se* refería en absoluto a un estallido de la materia en el sentido anterior (lo que pretendía precisamente era burlarse del modelo de Lemaître), sino a una gigantesca *dilatación del espacio* que debería ser capaz de “crear”, a partir de la propia geometría del espacio, “toda la materia y energía del universo” (fueron sus palabras textuales). Pero es que esto resulta ya muchísimo más *difícil* de comprender. ¡El propio Hoyle creía que tal fenómeno era de hecho del todo imposible! Pero Alan Guth, con su teoría de la *inflación cósmica*, demostró treinta años más tarde de que sí se podía conseguir, cuando menos en teoría. La dificultad de comprender tal procedimiento

y teoría es la razón por la que tantos/as retoman la versión caricaturesca y errónea, que puede entender hasta un niño o una niña bastante pequeños.

Como he explicado en uno de mis artículos [5], se ha descubierto recientemente que el primero en intentar crear materia y energía a partir del mismísimo espacio fue el propio Albert Einstein, el autor de la Teoría de la Relatividad General. De hecho, tal posibilidad se hallaba ya implícita en las ecuaciones de su teoría [4]. Lo hizo a principios de 1931 pero, desgraciadamente, no logró su propósito, ya que no fue capaz de encontrar un mecanismo específico para llevarlo a cabo en la práctica. Pretendía conseguirlo con ayuda de la constante cosmológica y vio que no era posible. No cayó en la cuenta de que debía haber involucrado un campo cuántico de creación de materia (como sí hicieron Hoyle, Bondi y Gold diecisiete años más tarde). Y el manuscrito con sus cálculos lo dejó abandonado para siempre en un cajón de su escritorio. Pero no seguiré por aquí, pues he prometido ser muy conciso e ir directamente al grano, a diferencia de otras ocasiones, en que puede que me hayan perdido los detalles.

Haré, en lo que sigue, una narración muy breve y convenientemente actualizada sobre lo que sí que pudo suceder en el origen de nuestro universo. Debo advertir que no es esta la única descripción aceptada, ya que hay otras que son igualmente posibles. Por otra parte, no todo lo que voy a contar ha sido estrictamente comprobado experimental u observacionalmente (lo concretaré luego).

El Génesis, de acuerdo con los conocimientos científicos del año 2021

En el principio no había casi nada: una *pizca de materia* en un espacio-tiempo minúsculo, que acababa de aparecer de una “espuma cuántica” previa en la que aún no se distinguían ni el espacio ni el tiempo. Y también había un campo cuántico, el de *Higgs*, y otro, el *inflatón*, listos para actuar. Una *chispa* (la naturaleza precisa de la cual todavía no hemos fijado) creó las condiciones para que el inflatón produjese, de repente y durante un infinitésimo de tiempo, una expansión gigantesca (que llamamos *inflación cósmica*) del tejido de ese espacio minúsculo (Fig. 2). Y que fue creando más y más espacio, e hizo que el universo, que era al principio poco mayor que un átomo ordinario, pasara a tener ya el tamaño de un guisante, o de un pomelo, más o menos. Y que se continuó expandiendo todavía, aunque a un ritmo cada vez más lento. Al frenarse la tremenda expansión inflacionaria, casi toda aquella energía colosal del propio espacio se transformó en los componentes elementales de la materia y energía actuales: *quarks, gluones, leptones, fotones*, etc., que llenaron uniformemente el aún muy pequeño universo. Aunque una parte de dicha energía se empleó en calentarlos (lo que llamamos *reheating*). Todos aquellos constituyentes elementales formaron una sopa primigenia enormemente caliente, que recibe el

1 De nuevo, véase en particular mi libro [4].

nombre de *plasma primordial* (o plasma de quarks y gluones). Un plasma, eso sí, absolutamente oscuro, dado que los fotones permanecían confinados: cuando alguno lograba salir de una partícula material, no podía dar dos pasos sin ser ya atrapado por otra, que lo absorbía. Y así una y otra vez.

Era un universo completamente oscuro, sin luz. Y aquel plasma latía al unísono, como si fuese todo él un corazón universal (a los latidos se les llama *oscilaciones acústicas de los bariones*, BAO). Los cambios que se fueron produciendo en el plasma durante los primeros segundos y minutos del universo se hallan magníficamente descritos en libros como el de Weinberg [6] y también en Wikipedia [7].

Las condiciones del plasma primordial que constitúa el universo, cuando éste tenía tan solo unas pocas milbillonésimas de segundo de vida se han podido reproducir con enorme precisión en laboratorios de física de partículas como el LHC del CERN, en Ginebra. Cuando el cosmos tenía ya una cien-milésima de segundo, se formaron los protones y neutrones, y cuando alcanzó el segundo de vida los neutrinos se desacoplaron del plasma y pudieron ya viajar por todo él. No así los fotones, todavía. Actualmente se está intentando obtener información sobre esta etapa del universo a partir de neutrinos primordiales, que comienzan a detectarse en ciertos experimentos.

Desde los diez segundos hasta los tres minutos, aproximadamente, protones y neutrones constituyeron los núcleos atómicos más ligeros (de hidrógeno, deuterio, helio, etc.), proceso que recibe el nombre de *nucleosíntesis primordial* [6]. Tomó muchísimo más tiempo, hasta que se pudieron formar los primeros átomos. Gran parte de la física de partículas conocida está involucrada en el estudio de estos procesos, que aquí he simplificado mucho [7]. Es un campo de estudio fascinante.

Y el universo continuó expandiéndose, a un ritmo ya normal, muy parecido al que ahora detectamos. Y era por ello cada vez menos caliente, ya que la propia expansión lo iba enfriando, poco a poco. Hasta que, cuando tenía entre 370 y 380 mil años, ocurrió lo que se describe de manera magistral en el primer versículo del Génesis. Súbitamente ¡se hizo la luz! La temperatura había bajado por debajo del umbral de ionización del átomo más ligero, el de hidrógeno. Súbitamente, estos átomos precipitaron a gran escala, y aquel plasma tan oscuro, el universo entero, se hizo de pronto transparente a los fotones, que pudieran viajar, por vez primera, de extremo a extremo del aún muy joven cosmos (Fig. 3)².

2 Es preciso recordar que los átomos están prácticamente vacíos. El de hidrógeno lo podemos esquematizar a escala (muy rudimentariamente) así: si el átomo fuera del tamaño de un campo de fútbol, el núcleo (protón) tendría el tamaño de un guisante colocado en el centro del campo, y el diminuto electrón, casi invisible, menor que una pequeña mota de pol-



Esta fue la primerísima luz del universo, una luz maravillosa, radiación de cuerpo negro homogénea e isotrópica que ahora hemos observado con los satélites COBE, WMAP y Planck: la que denominamos *radiación cósmica de fondo* (CMB), y que a muchos nos cautiva sin remedio. Es, repito, la primera luz del cosmos, la del primer día del Génesis; la que nunca se apaga y continúa viajando por todo el universo actual.

Y además lleva grabadas las huellas indelebles del último latido del plasma primigenio. Y las huellas amplificadas de las fluctuaciones cuánticas de la época preinflacionaria. Y las huellas, en resumen, de todas las vicisitudes ocurridas en las épocas pasadas de la historia del universo, mientras la luz ha ido viajando hasta nosotros, y que cada vez somos más capaces de descifrar.

Decidme pues ahora si esta maravilla que hemos descubierto no es mil veces más impresionante que una simple explosión, por fuerte que hubiese sido el estallido. De todo lo que antecede tengo escritas sendas narraciones en forma poética: *Big Bang inflacionario* [8] y *La primera luz del Cosmos* [9].

Comentarios

Tal como había prometido, he hecho un relato actualizado con bien pocas palabras. Mi descripción es sólo a muy grandes rasgos³, pero contiene lo esencial de todo lo que sabemos hoy en día. Deja abiertos aún muchos interrogantes, pero así es la Ciencia: nunca esperemos de ella una verdad absoluta, definitiva. El que la busque deberá acudir a otras fuentes.

Al igual que antes he inquirido sobre dónde estaba la gallina que había puesto el huevo cósmico, ahora se me podría preguntar: ¿De dónde salieron la espuma de espacio-tiempo preprimigenia, y la brizna de materia inicial, el campo de Higgs, el inflatón,

Fig. 2 Ilustración de la etapa de inflación cósmica en 1+1 dimensiones. El universo es unidimensional y, en un instante dado, se reduce a una circunferencia, cuyo radio va aumentando exponencialmente con el tiempo, lo cual tiene lugar durante una pequeña fracción de segundo. La dimensión temporal coincide con el eje de simetría.

vo, iría girando por encima de las gradas alrededor del campo. Todo lo demás es absoluto vacío. Al formarse los átomos de hidrógeno de manera simultánea en todo el universo, este se volvió prácticamente transparente.

3 Yo no he mencionado nada de las importantes etapas posteriores, como la de *recombinación*, la formación de las primeras galaxias, ni de la *nucleosíntesis estelar*, de la que Hoyle fue pionero y que dio origen a los elementos pesados [4]. Tanto el principio como la conformación posterior del universo es muchísimo más rica y compleja que un banal gran estallido.

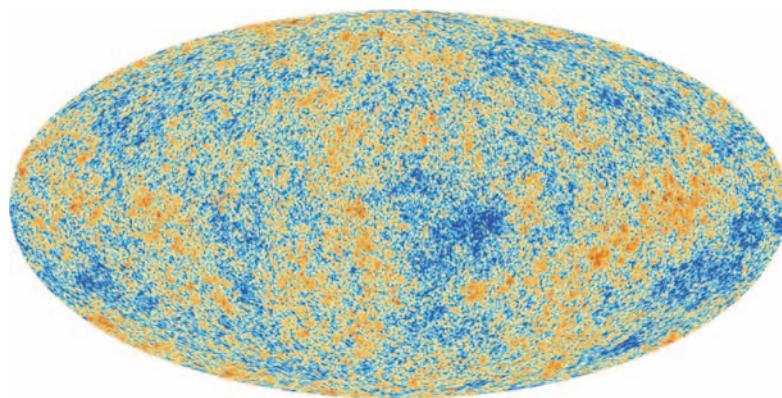


Fig. 3 Mapa de la radiación cósmica de fondo (CMB) observada por el satélite Planck de la Agencia Europea del Espacio (ESA). Se trata de la primera luz del cosmos, que fue emitida cuando tenía entre 370 y 380 mil años y que sigue viajando por todo el universo. Lleva impresas las huellas del último latido del plasma primordial, así como las huellas amplificadas de las fluctuaciones cuánticas de la época preinflacionaria, y las huellas, en definitiva, de todas las viciisitudes ocurridas en las épocas pasadas de la historia del universo, y que cada vez somos más capaces de descifrar.

etc.? Pero, dejémoslo bien claro, por favor; una cosa es ya meter todo el universo jibarizado, escondido en el sombrero de copa, y otra muy distinta introducir tan sólo unos pequeñísimos elementos, que ni con los microscopios más potentes imaginables seríamos jamás capaces de ver. Nuestra chistera está muchísimo más vacía que la que nos muestra el mago Pop. Y a partir de ellos, de estos elementos nimios, y con un “simple” gran soploido del globo del espacio, hemos sido capaces de crear un universo enorme y todo su contenido material y energético. Y a coste *zero*, aunque este punto no tengo ahora tiempo de explicarlo. Quien quiera saber más, puede leer mi nuevo libro, recientemente publicado: *Cosmología moderna: desde sus orígenes* [4].

Obsérvese que mi descripción se sitúa en la frontera más lejana de la física fundamental que conocemos. No se puede afirmar aún que la inflación cósmica haya sido comprobada del todo. Pero se tienen muchos y muy importantes indicios de que ocurrió. Y las teorías alternativas (de un universo pulsante, en cosmología de lazos, etc.) lo que hacen es intentar recrear en esencia sus mismos efectos, aunque partiendo de otros principios. Quede claro que lo que sí hemos comprobado sin lugar a duda alguna es que, del átomo primigenio y del gran estallido que muchos mal informados siguen afirmando que se produjo, no hay ni el menor rastro; eso sí que es cien por cien seguro que no sucedió jamás.

Otra observación, esta para las lectoras y lectores avanzados, es que no he mencionado en ningún lugar los *multiversos*. No queda excluida, ni mucho menos, la posibilidad de que el universo total sea infinito y que todo lo que he descrito hasta aquí sucediera simplemente en una pequeñísima región de un grandioso espacio-tiempo multidimensional; que sólo un pequeño puntito del mismo inflacionase, etc. En otras palabras, que mi descripción se refiera únicamente a *nuestro* universo. Y que, como el nuestro, pueda haber toda una multitud ingente de otros universos, creándose y desapareciendo por todas partes. Las teorías de *supercuerdas* y *branas* admiten de hecho estas posibilidades, incluso las favorecen. Pero, de prueba física, real, no hay ninguna, hasta ahora.

Como siempre, tengo que terminar recordando que nos queda aún mucho camino por recorrer, antes de poder llegar a responder las preguntas anteriores que he planteado. No tenemos una teoría que unifique la física cuántica con la gravedad. Pero ya he mencionado otras veces que es muy posible que esa teoría tan deseada, aunque la encontráramos, quizás todavía no sería suficiente para llegar al mismísimo punto inicial, $t=0$, a la *singularidad* del Big Bang, que aparece en las teorías de gravitación actuales (y por la que, entre otras cosas, a Roger Penrose le concedieron el Premio Nobel de Física 2020). Lejos de desanimarnos, ello nos empuja a seguir investigando.

Por último, es muy saludable de vez en cuando echar la vista atrás, y observar, pausadamente, de dónde venimos y todo lo que hemos conseguido entender hasta ahora. Lo que vamos avanzando, paso a paso, año tras año, siglo tras siglo. Y no obcecarse, una y otra vez, en las mismas cuestiones de respuesta muy difícil y que es bien posible (como muestra nuestra experiencia de descubrimientos pasados) que aún se tarde cien o doscientos años, si no más, en poder llegar a contestarlas.

Y es completamente seguro que, para entonces, habrán aparecido nuevas preguntas en busca de respuestas.

Bibliografía

- [1] JOHN HEADLEY BROOKE, *Ciencia y religión. Perspectivas históricas* (Santander, Sal Terrae, José Pérez Escobar [trad.], 2016, 1991 [ed. original]).
- [2] TEODOR SUAU, *Del caos al cosmos: lectura de Gènesi 1-11* (Publicacions de l'Abadia de Montserrat, ISBN: 9788484156116).
- [3] <https://www.encyclopedia.cat/divulcat/big-bang>.
- [4] EMILIO ELIZALDE, *Cosmología moderna: desde sus orígenes* (Ed. Catarata, Madrid, 2020).
- [5] EMILIO ELIZALDE, “Some issues on the foundations of Modern Cosmology, Gravitation and Quantum Physics”, *Universe* **6**, 189 (2020).
- [6] STEVEN WEINBERG, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, (Basic Books, Nueva York, 1993, 2nd ed.); (Basic Books, Nueva York, 1977, 1st ed.).
- [7] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_the_universe.
- [8] EMILIO ELIZALDE, https://www.ice.csic.es/personal/elizalde/eli/inflacionariBB_esp_r.pdf
- [9] https://www.ice.csic.es/personal/elizalde/eli/La%20primera%20luz%20del%20Cosmos_1.pdf

Emilio Elizalde
Profesor de Investigación *Ad Honorem*
Instituto de Ciencias del Espacio,
ICE-CSIC
Institut d'Estudis Espacials
de Catalunya, IEEC