



© NASA / ESA / Jesús MAiz Apellániz (IAA, España)

Si queremos averiguar qué pasó en las etapas muy primitivas del universo tendremos que saber cómo se combina la gravitación y la física cuántica, y esta ha sido una preocupación esencial en las aportaciones físicas de Stephen Hawking. En la imagen tomada por el telescopio Hubble, dos estrellas masivas, WR 25 y Tr16-244 situadas en el cúmulo abierto Trumpler 16, dentro de la Nebulosa Carina.



DE LA BREVE HISTORIA DE TODO AL GRAN DISEÑO

EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO DE STEPHEN HAWKING

David Jou

En las postrimerías del siglo XIX, algunos científicos creyeron que la física teórica estaba a punto de ser completada, es decir, a punto de conocer todos los constituyentes básicos y las interacciones básicas de la realidad física. Los motivos para esta opinión eran diversos: la mecánica había incorporado sólidos y fluidos; la electricidad y el magnetismo habían dado la teoría electromagnética de la luz, incorporando así la óptica; la termodinámica se conectaba con la mecánica estadística. Para Lord Kelvin, la realidad básica era el éter electromagnético, y los diversos tipos de átomos eran vórtices en este éter. La evolución de la física fue, sin embargo, muy diferente a eso: en menos de diez años se descubrieron los electrones, la radiactividad, la relatividad especial y la física cuántica. La física teórica quedaba nuevamente abierta.

■ UNIFICACIÓN DE FUERZAS Y CULMINACIÓN DE LA FÍSICA TEÓRICA

A pesar de la rotunda desautorización de aquellas pretensiones, la tentación se repite a finales del siglo XX. Stephen Hawking es, probablemente, el exponente más destacado de ello. En 1988, en *Breve historia del tiempo*, y en su discurso de acceso a la cátedra Lucasiana de Cambridge, sostenía que ya estábamos en puertas de la culminación de la física teórica. Esta es, también, la idea esencial de su último libro, *El gran diseño* (2010), veintidós años después. Ahora bien, lo que se entiende por culminación de la física teórica ha cambiado radicalmente entre estos dos libros.

Se entiende por culminación de la física teórica el conocimiento de los constituyentes básicos y de las interacciones básicas de la realidad física. Hay, sin embargo, una diferencia relevante con el siglo XIX: entonces no se exigía que fuerzas y partículas tuviesen que ser unifica-

«SI QUEREMOS AVERIGUAR QUÉ PASÓ EN LAS ETAPAS MUY PRIMITIVAS DEL UNIVERSO DEBERÍAMOS SABER CÓMO SE COMBINAN LA GRAVITACIÓN Y LA FÍSICA CUÁNTICA. ESTA HA SIDO UNA PREOCUPACIÓN ESENCIAL EN LAS APORTACIONES FÍSICAS DE STEPHEN HAWKING»

das. La exigencia de unificación, en cambio, parece hoy un elemento esencial de las pretensiones de la física teórica.

Aclaremos, pues, dónde estamos y qué habría que conseguir para alcanzar la unificación. Conocemos cuatro interacciones: gravitatoria, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte, que en nuestro mundo se comportan de maneras radicalmente diferentes. ¿Dónde reside la necesidad de unificarlas? En el hecho, podemos responder, de que a energías muy elevadas sus comportamientos parecen converger entre

sí. Las interacciones electromagnética y nuclear débil han sido unificadas satisfactoriamente –solo falta descubrir el bosón de Higgs para que esta tarea se pueda considerar culminada–; la interacción nuclear fuerte está bien descrita por la cromodinámica cuántica; las interacciones electrodébil y nuclear fuerte no están aún del todo unificadas entre sí, pero hay teorías de gran unificación más o menos plausibles. La que se resiste a ser unificada con las otras es la interacción gravitatoria. La dificultad viene del hecho de que las otras interacciones están regidas por la física cuántica, mientras que la gravitación presenta grandes dificultades para ser compatible con la física cuántica.

Por lo que respecta a las partículas, las dividimos entre partículas de materia (quarks, sensibles a la interacción fuerte, y leptones, insensibles a esta interacción) y partículas de fuerza (bosones intermediarios). Hay tres «generaciones» de quarks y de leptones, según sus masas: quarks (*u* y *d*, *s* y *c*, *t* y *b*), y leptones (electrón, muón, tauón y sus neutrinos correspondientes). Los bosones intermediarios son los cuanta de las interacciones: fotón (interacción electromagnética), partículas W^+ , W^- y Z_0 (interacción débil), gluones (interacción fuerte) y el hipotético gravitón (gravitación).

En términos de estas partículas e interacciones podemos describir un cinco por ciento del contenido del uni-

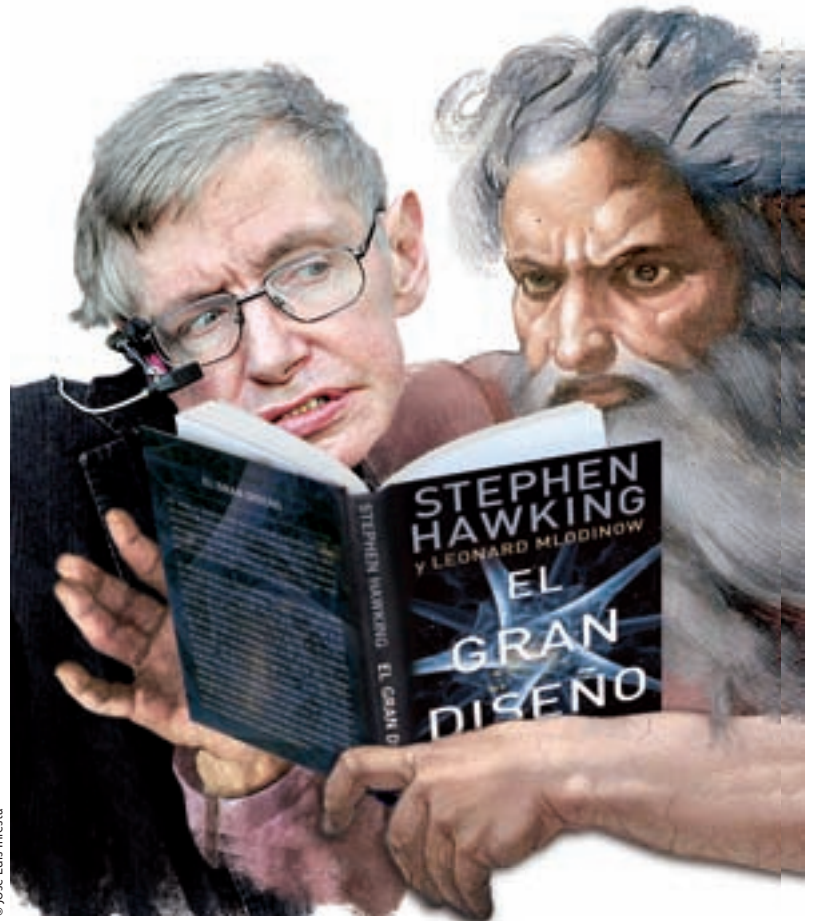
verso. El otro noventa y cinco por ciento (constituido por materia oscura y energía oscura), lo desconocemos. Dejemos de lado, por ahora, este pequeño detalle y centremos la atención en lo que conocemos. ¿No podríamos dar por culminada la física teórica, ya que hemos identificado las partículas y fuerzas básicas? La respuesta es no: en la teoría intervienen una cincuentena de parámetros: las constantes físicas –constante de la gravitación, velocidad de la luz, constante de Planck, cargas y masas de más de una docena de partículas–, y constantes de las interacciones fuerte y débil.

Podríamos admitir que el mundo es así y no preocuparnos por los valores de las constantes –al fin y al cabo, están determinados experimentalmente con gran precisión–, y aceptar que la gravitación rechaza ser unificada con las otras interacciones. En definitiva, según la relatividad general, la gravitación no es propiamente una interacción sino una geometría. Por otro lado, la gravitación describe estrellas y galaxias, y la física cuántica núcleos, átomos y moléculas. En la física atómica y nuclear, la gravitación es irrelevante. En la cosmología, la cuántica parece irrelevante. ¿Por qué hay que unificarlas?

■ ¿POR QUÉ HAY QUE UNIFICAR?

Por una parte, porque el universo actualmente visible ocupó, hace unos trece mil setecientos millones de años, un volumen inferior al de un núcleo atómico y debió estar sometido, pues, a la física cuántica. Si queremos averiguar qué pasó en las etapas muy primitivas del universo (tiempos inferiores a millonésimas de billonésimas de billonésimas de billonésimas de segundo) deberíamos saber cómo se combina la gravitación y la física cuántica. Esta ha sido una preocupación esencial en las aportaciones físicas de Stephen Hawking.

El segundo motivo para aspirar a una unificación es poder explicar los valores de las constantes físicas. En los últimos cincuenta años, estudios teóricos han puesto de manifiesto que sus valores representan un papel decisivo en el contenido del universo. Si cambiamos alguna de las constantes, como por ejemplo la masa de los electrones, el resultado no sería un universo como el nuestro pero con electrones un poco más pesados, sino un universo en el que la tabla periódica estaría reducida a hidrógeno, helio y litio, y en el que no habría vida. Si cambiamos la constante de la gravitación, el universo se habría expandido o bien más rápidamente, y ahora tan solo contendría un gas homogéneo de hidrógeno y helio, sin galaxias ni estrellas, o bien se habría frenado y vuelto a colapsar antes de formar ninguna galaxia. En pocas palabras: por lo que respecta a las constantes físicas, el universo parece muy bien sintonizado para que pueda existir carbono, condición para la



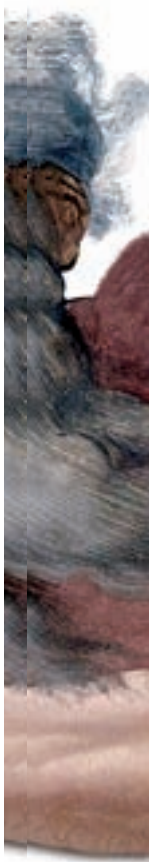
© José Luis Iniesta

existencia de vida tal como la conocemos. Esta sensibilidad sorprendente hace que resulte más interesante –vitalmente interesante y no solo académicamente interesante– saber de dónde vienen los valores de estas constantes.

De los dos estímulos hacia una teoría unificada –unificar lo grande y lo pequeño, y explicar los valores de las constantes físicas– el primero no ha variado desde 1988, mientras que el segundo ha cambiado radicalmente. En 1988 se creía que conciliar física cuántica y gravitación también resolvería el problema de las constantes físicas, determinando unos valores únicos, que deberían ser, evidentemente, los valores observados. Pero no ha sido así, y aquí está la gran diferencia entre los dos libros de Hawking, que representan, pues, dos momentos muy interesantes pero muy diferentes.

■ GRAVITACIÓN Y FÍSICA CUÁNTICA

Vayamos, primero, a la conciliación entre gravitación y física cuántica. En los años ochenta surgió la llamada teoría de supercuerdas. En ella, el espacio tenía nueve dimensiones, seis de las cuales plegadas sobre sí mismas con un radio millones de veces inferior al radio del protón. Las entidades básicas no eran partículas sino cuerdas minúsculas, cuyas diferentes vibraciones serían percibidas como partículas diferentes. Con este número de dimensiones, se conseguía eliminar una serie de infinitos que surgían cuando se intentaba aplicar la física cuántica a la relatividad general. Hubo un momento de gran opti-



mismo: parecía que la unificación total sería posible. Era la atmósfera intelectual en la que fue escrita y publicada la *Breve historia del tiempo* de Hawking. Parecía que la gran unificación estuviese al alcance, si se conseguían resolver varias dificultades matemáticas de envergadura.

Pero el resultado fue muy diferente: en vez de obtener una teoría única se obtenían cinco grandes familias de teorías, cada una de las cuales era compatible con un número inmenso de valores de las constantes físicas. La teoría M, con una dimensión adicional, es decir, con un espacio de diez dimensiones, fue capaz, hace unos diez años, de establecer relaciones entre las grandes familias de posibilidades surgidas de la teoría de supercuerdas. Así, las diversas teorías parecían complementarse entre sí como lo hacen los mapas de las diferentes regiones de la Tierra, que describen territorios diferentes pero cuyas descripciones coinciden en las zonas en las que se solapan mutuamente. Ya no esperamos, pues, una sola teoría para las interacciones, sino teorías diferentes, que coinciden, sin embargo, en los ámbitos en los que se solapan. Primer cambio, pues, respecto de las ideas de 1988: la teoría ya no será única, sino diversa, según los diferentes dominios de tamaño y energía considerados.

Pero estas teorías son compatibles con un amplísimo conjunto de valores posibles de las constantes físicas: la teoría no puede explicar los valores concretos. La explicación de los valores que observamos no estaría, pues, en la propia física, que admite muchas posibilidades, sino en cuanto a que nosotros, observadores, no podríamos existir si las constantes físicas no fuesen estas. Naturalmente, si el único universo existente fuera precisamente el nuestro, sería casi imposible rechazar la idea de milagro de la existencia. ¿Por qué, de todos los universos físicamente posibles, fue elegido precisamente el nuestro?

■ DEL UNIVERSO ÚNICO A MUCHOS UNIVERSOS

Se puede salvar esta sorpresa si se admite la idea de multiverso: es decir, no hay tan solo un universo, el nuestro, delicadamente ajustado para la existencia de vida, sino todos los universos posibles, con leyes y constantes diferentes: en total, unos 10 elevado a 500 tipos de universos diferentes. En la inmensa mayoría de ellos no habría vida.

¿Qué justifica aceptar la idea de muchos universos, si hasta ahora la física había rehusado lo que en principio no era observable, y había aplicado la navaja de Ockham,

eligiendo las teorías sobrias por encima de las abarrocadas? El impulso para justificarlo viene de la idea del universo como resultado de una fluctuación cuántica y de las ideas de la cosmología inflacionaria. En esta, el universo habría crecido exponencialmente, durante una época muy breve, ampliando enormemente una zona diminuta y amplificando diminutos efectos cuánticos; en la primera, espaciotiempos diversos irían surgiendo y colapsándose espontáneamente, y algunos de ellos, excepcionalmente, podrían dar un universo inmenso.

■ LOS DEBATES DEL PARALELISMO TEOLÓGICO

Este es el entorno conceptual y el contenido esencial del *gran diseño*. Hay un número vertiginoso de universos, que van surgiendo y desapareciendo al azar, y solo en poquísimos de ellos puede haber vida. Pasando a un paralelismo teológico—difícil de evitar cuando se habla de los inicios, y muy rediticio en la difusión del libro—, las conclusiones de Hawking también varían. En la *Breve historia del tiempo*, llegar a las ecuaciones últimas unificadas sería como conocer «la mente de Dios». En *El gran diseño*, las ecuaciones van dando, a través de efectos cuánticos, universos al azar. Hay una racionalidad, pero no se ve como la mente de Dios, porque trabaja ciegamente, azarosamente, vanamente.

Pero las preguntas subsisten. ¿Qué es la nada? ¿De dónde vienen

las ecuaciones? ¿Cómo se pasa de la nada a un universo? ¿Por qué tiene que haber ecuaciones? ¿Por qué hay universos? ¿De qué está hecho el universo? Si el universo fuera infinito desde el primer momento, ¿podría ser el resultado de una fluctuación cuántica? Si intentar unificar gravitación y cuántica, en vez de llevar a más unificación, lleva a más disgregación, ¿estamos en el camino correcto?

El gran diseño, un libro bien estructurado, ameno, relativamente claro, escrito con agudeza y humor, no resuelve todas las dudas, ni físicas ni metafísicas, referentes al origen y existencia del universo. Nadie pretendía, evidentemente, que lo hiciese. En todo caso, el contraste entre estos dos libros de Hawking manifiesta de forma fascinante la evolución del pensamiento físico de los últimos treinta años. Hay, sin embargo, ideas alternativas, que no sabemos aún dónde nos llevarán. Probablemente, tenemos aún un largo viaje por delante, con muchas sorpresas. ☺

David Jou. Catedrático de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha traducido varias obras de Stephen Hawking, entre ellas *El gran diseño* (Crítica, 2010).

«EL CONTRASTE ENTRE LAS OBRAS 'BREVE HISTORIA DEL TIEMPO' Y 'EL GRAN DISEÑO' MANIFIESTA DE MANERA FASCINANTE LA EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO FÍSICO DE LOS ÚLTIMOS TREINTA AÑOS»