

LA SINGULARIDAD DE STEPHEN HAWKING

Daniel Martín Reina

No hay físico más famoso que él, pero no es premio Nobel. Ha aportado a la cosmología ideas originales y elegantes, aunque difíciles de confirmar. Y sus cambios de opinión siempre son noticia. ¿Qué hay en la mente de este gran científico?

En el verano de 1964 el astrónomo inglés Fred Hoyle estaba en la cima de su fama. Se encontraba en Londres para dar una conferencia en la que iba a explicar su hipótesis sobre el origen del Universo ante los miembros de la muy prestigiada Royal Society. Hoyle disentía de la hipótesis de la gran explosión (*big bang*), según la cual el Universo empezó como un punto de densidad infinita y hoy se expande. Para él, el Universo no tenía principio ni fin y siempre había presentado el mismo aspecto. Aunque las galaxias se separaban, como se sabía desde los años 30, Hoyle pensaba que en el espacio intergaláctico se iba creando materia nueva constantemente, de forma que la densidad total del Universo nunca cambiaba. La idea de Hoyle, alternativa a



la gran explosión, se conoce como *teoría del estado estacionario* (ver *¿Cómo ves?* No. 161).

Después de los aplausos, Hoyle solicitó preguntas. Un joven delgado y de aspecto frágil se puso en pie con mucho esfuerzo usando un bastón. Era un estudiante de física recién licenciado al que se le había diagnosticado esclerosis lateral amiotrófica (ELA), una terrible enfermedad degenerativa. Para asombro del público, el joven señaló que Hoyle se había equivocado en un cálculo. Lo sabía porque él mismo había realizado ese cálculo. El error echaba por tierra el razonamiento de Hoyle, quien abandonó la sala enfurecido.

El atrevido joven que humilló a Hoyle se llamaba Stephen Hawking y hoy es sin duda el científico más famoso del mundo. Contra los pronósticos médicos que en los años 60 le auguraban una vida muy corta, Hawking cumplió 70 años en enero de este año. Y vivir confinado a una silla de ruedas y hablar por medio de un sintetizador de voz desde hace varias décadas no le ha impedido transformar nuestra imagen del Universo con ideas elegantes y originales.

Singularidad en el pasado

El 8 de enero de 1942, exactamente 300 años después de la muerte de Galileo Galilei, nació Stephen Hawking en Oxford, Inglaterra, adonde sus padres se habían trasladado temporalmente durante la Segunda Guerra Mundial. Stephen fue un niño debilucho y torpe de movimientos, pero en la escuela era brillante y sacaba buenas notas sin ningún esfuerzo. Terminó los estudios de física en Oxford con calificación de sobresaliente, lo que

le abrió las puertas del Trinity Hall de la Universidad de Cambridge. Allí llegó en el otoño de 1962, a los 20 años, con la intención de profundizar en el conocimiento del cosmos.

Para entender la estructura del Universo en la escala más grande necesitamos una descripción matemática de la atracción que ejercen las galaxias unas sobre otras; es decir, una teoría de la gravedad. A principios del siglo XX los cosmólogos abandonaron la venerable teoría de la gravitación universal de Newton en favor de la teoría general de la relatividad, propuesta por Albert Einstein en 1915. La teoría de Einstein combina el espacio y el tiempo en una única entidad de cuatro dimensiones, llamada *espacio-tiempo*. La presencia de materia y energía en este espacio-tiempo tiene un efecto parecido al de una bola de plomo en una cama elástica: hace que el espacio-tiempo se combe. La masa del Sol, por ejemplo, deforma el espacio-tiempo a su alrededor, lo que obliga a los planetas a desplazarse en torno suyo describiendo trayectorias curvas, como canicas que ruedan en un embudo. En la teoría general de la relatividad el movimiento de los cuerpos es consecuencia de la forma (o la *geometría*, como dicen los físicos) del espacio-tiempo, sin necesidad de ningún tipo de fuerza.

Una década más tarde, en 1929, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble descubrió que las galaxias no estaban quietas, sino que se separaban unas de otras. La causa más probable era que el propio Universo se expande, como si fuera un enorme globo. Hasta ese momento los científicos pensaban que el Universo era

estático e inmutable. Pero si las galaxias se estaban separando, esto significaba que en el pasado estuvieron más juntas. ¿Hubo un momento del pasado en que todas las galaxias estuvieran infinitamente juntas, todas en un punto? La hipótesis de la gran explosión, basada en las observaciones de Hubble, supone que sí, pero durante 30 años persistió esta duda: ¿permiten las leyes de la física que existan acumulaciones de materia de densidad infinita, tales como el Universo al momento del *big bang*?

La respuesta estaba en la propia relatividad general y fue Stephen Hawking quien la encontró. Desde mediados de la década de 1960, se dedicó al estudio de las llamadas singularidades: puntos donde la curvatura del espacio-tiempo se hace infinita. Hawking y el matemático británico Roger Penrose desarrollaron nuevas técnicas matemáticas para analizarlas. Finalmente, en 1970, consiguieron demostrar que, según la teoría general de la relatividad, tuvo que haber en el pasado del Universo un estado de densidad infinita, con toda la materia y energía concentradas en un espacio mínimo. Esa singularidad era el principio del Universo, el *big bang* o gran explosión, y también marcaría el inicio del tiempo. El trabajo de Hawking y Penrose, por cierto, terminaba de hundir la teoría del estado estacionario de Hoyle, lo que le dio a éste otro motivo para aborrecer a Hawking.

Pero eso no era todo. Hawking y Penrose también demostraron que la relatividad general contempla, además de una singularidad inicial, una posible singularidad final para el Universo: si su expansión se fuera frenando poco a poco hasta revertirse, entonces el Universo empezaría a contraerse hasta llegar a lo que podría llamarse *big crunch* o gran implosión. Empero hoy en día sabemos que la expansión del Universo, lejos de frenarse, se está acelerando, por lo que no habrá *big crunch* (ver *¿Cómo ves?* No. 58).

No tan negros

El principio y el final de Universo no son las únicas singularidades que predice la teoría general de la relatividad. Sólo un mes después de que Einstein publicara su teoría, en 1915, el físico alemán Karl Schwarzschild calculó que si un cuerpo celeste se comprimiera hasta cierto tamaño (que hoy se denomina radio de

Schwarzschild), la gravedad en su superficie sería tan intensa, que ni siquiera la luz podría escapar: el objeto se convertiría en lo que hoy llamamos un agujero negro.

Si únicamente se toman en cuenta los efectos gravitacionales, un agujero negro es una cosa relativamente simple: todo lo que se pueda decir de él se puede deducir de sólo tres magnitudes físicas: su masa, su carga eléctrica y su velocidad de rotación. Al formarse el agujero negro (digamos, por la contracción final de una estrella que muere), se pierde toda la información adicional: de qué estaba hecha la estrella que se contrajo para formar el agujero negro, cuánto tiempo tenía de existir... Si otro objeto traspasa la frontera —u *horizonte*— del agujero negro, también desaparece para siempre. Pero en 1915 se ignoraba por completo lo que ocurría en el interior del agujero, pues ahí no tenían validez las leyes de la física.

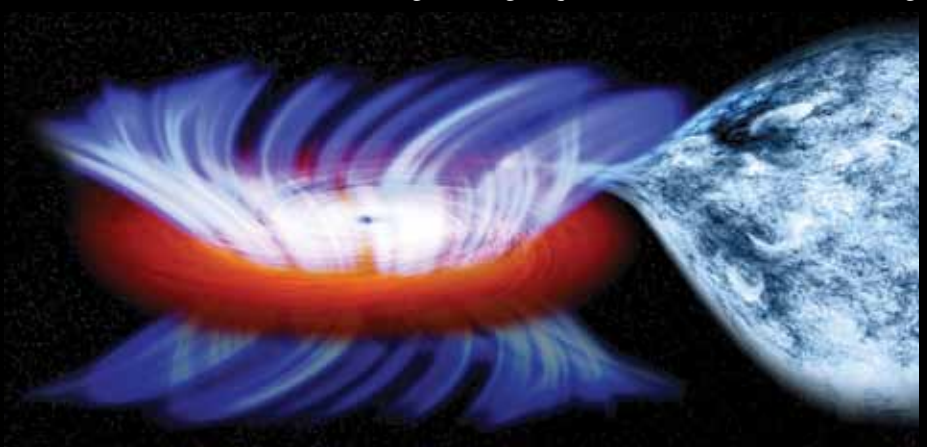
En 1974 Hawking tuvo una idea genial: tomar en cuenta la física cuántica —la teoría que gobierna el mundo atómico— para entender lo que ocurre en el *borde* de un agujero negro. De acuerdo con la física cuántica, el vacío en el sentido más estricto no existe. Aún el vacío más extremo rebosa de actividad: un continuo

chisporrotear en el que de la nada aparecen y desaparecen parejas formadas por una partícula de materia (por ejemplo, un electrón) y su correspondiente partícula de antimateria (un positrón), que, no bien se forman, chocan una con la otra y se aniquilan, como exige la física cuántica. La existencia de estos pares de partícula-antipartícula es tan breve que no puede observarse directamente, pero sí se pueden medir sus efectos indirectos. Por eso se les llama *partículas virtuales*. Al vacío poblado de estos efímeros pares de partículas virtuales se le llama *vacío cuántico*.

Al aplicar la idea de vacío cuántico en las cercanías del horizonte de un agu-

jero negro, Hawking comprendió que los pares virtuales creados justo en el borde se separarían antes de poderse aniquilar: una partícula desaparecería en el abismo del agujero negro mientras que la otra, al haber perdido a su compañera, no tendría con quién destruirse y se podría escapar. En la práctica, esto era lo mismo que decir que el agujero negro emite radiación. Hawking acababa de demostrar que los agujeros negros no son tan negros.

Esta *radiación de Hawking* tendría una consecuencia sorprendente: como la radiación lleva energía y la energía es equivalente a la masa ($E = mc^2$), un agujero negro que emite radiación de Hawking



No darse por vencido

Los primeros síntomas del mal que padece Stephen Hawking aparecieron durante su último año en Oxford, cuando se cayó varias veces por las escaleras. Poco después de su llegada a Cambridge, una revisión médica confirmó el peor de los diagnósticos: Hawking sufría ELA, esclerosis lateral amiotrófica, también conocida como enfermedad de Lou Gehrig.

La ELA es una enfermedad degenerativa de las células nerviosas de la espina dorsal y del cerebro. Estas células controlan la actividad muscular por lo que, a medida que avanza la enfermedad, los músculos se van atrofiando hasta que el cuerpo queda reducido a un estado vegetativo. La comunicación del enfermo con el mundo que lo rodea resulta imposible y acaba muriendo al poco tiempo. Cuando a Hawking le diagnosticaron la ELA le dijeron que le quedaban dos años de vida.

Por suerte, la cosmología sólo requería de su mente, una de las pocas funciones

de su cuerpo que la enfermedad dejaría intactas. El joven terminó su tesis y se volcó en sus investigaciones con renovado entusiasmo. Al poco tiempo se casó con Jane Wilde, joven inglesa que sería la madre de sus tres hijos. Aunque resulte paradójico, fue más feliz en esa época que antes de saber que estaba enfermo.

Pero con los años la ELA siguió su curso de forma implacable. Del bastón pasó a las muletas para, más tarde, acabar en una silla de ruedas. Llegó un momento en que Hawking no podía escribir ni alimentarse solo, y su voz se convirtió en un susurro apenas audible. En 1985 fue operado de urgencia por culpa de una neumonía, y en la operación que le salvó la vida perdió la voz por completo. Pero su mente estaba en plena forma y realizaba los cálculos matemáticos más complejos sin necesidad de escribir. ¿Cómo iba a poder comunicar sus ideas ahora?

Fue entonces cuando empezó a utilizar una herramienta informática que permitía seleccionar palabras de entre un menú de 3000. Pegado a su silla de ruedas, Hawking operaba el aparato por medio de un sensor adaptado al movimiento de la mano y que requería un mínimo desplazamiento del dedo. Una vez construida la frase, un sintetizador de voz la pronunciaba.

Y ésta es, básicamente, la imagen que hoy tenemos de él: encogido en su silla de ruedas, con la cabeza inclinada hacia un lado y hablando con voz metálica. Un hombre admirable que ha sido capaz de superar todos los obstáculos de su terrible enfermedad.



va perdiendo masa; en otras palabras, se va evaporando. Lo hace a un ritmo muy lento, pues el tiempo necesario para que se evapore por completo un agujero negro del tamaño de varios soles sería mucho mayor que la antigüedad del Universo, pero no sería infinito.

Todavía no sabemos si existe la radiación de Hawking, aunque recientemente unos científicos italianos dirigidos por Daniele Faccio, de la Universidad de Insubria, informaron haber producido en el laboratorio algo análogo a la radiación de agujeros negros. La comunidad científica aún no está convencida.

La teoría de todo

La física actual, con todos sus éxitos, tiene un problema: sus dos pilares fundamentales —la teoría general de la relatividad y

la mecánica cuántica— son incompatibles. El problema se puede esquivar en la mayoría de las situaciones: la física cuántica se ocupa de cosas pequeñas y ligeras como los átomos, ámbito en el que se puede desprestigiar la gravedad; la teoría general de la relatividad, en cambio, se aplica a objetos grandes y pesados como las galaxias, entre las cuales los efectos cuánticos son invisibles. El conflicto aparece cuando se consideran cosas al mismo tiempo relativamente pequeñas y muy densas, como los agujeros negros, o infinitamente pequeñas e infinitamente densas, como el Universo al momento del *big bang*. No contamos con ninguna teoría adecuada de estos fenómenos. Cuando se consiga unificar la mecánica cuántica con la relatividad general en una teoría cuántica de la gravedad, por fin los entenderemos bien. Construir



Imagen: NASA/CXC/M.Weiss

esta teoría unificada, a veces llamada *teoría de todo*, ha sido el sueño de Hawking y de muchos físicos, como Albert Einstein. Los artículos de Hawking y Penrose sobre singularidades y los de Hawking sobre la radiación de los agujeros negros son contribuciones importantes a esta búsqueda.

Entre las posibles teorías unificadoras que se han propuesto en los últimos 40 años Hawking era partidario de la llamada *teoría de cuerdas* (ver *¿Cómo ves?* No. 108), que se fundamenta en la idea de que todo está hecho, en última instancia, de diminutos hilos que vibran en un espacio-tiempo de 11 dimensiones: el tiempo y las tres dimensiones espaciales que conocemos, más otras siete, tan pequeñas que no las podemos observar. Pero Stephen Hawking ya no confía en que sea posible encontrar la anhelada teoría de todo. En 2002 sorprendió a muchos cuando declaró: “Algunas personas se decepcionarán mucho si resulta que no se puede construir una teoría final que pueda expresarse mediante un número finito de principios. Yo solía ser de ese bando, pero he cambiado de opinión. Hoy me alegro de que nuestra búsqueda del conocimiento nunca vaya a terminar. Sin ella nos empantanáramos.”

Las apuestas de Hawking

A Stephen Hawking le encanta hacer apuestas con sus colegas sobre cuestiones científicas, aunque a la vista de los resultados hay que admitir que no se le



Imagen: HyperD / spore.wikia.com

da muy bien: en 1975 apostó contra el físico estadounidense Kip Thorne a que la fuente astronómica de rayos X llamada Cygnus X-1 no contenía un agujero negro. El premio para Thorne sería una suscripción anual a la revista *Penthouse* y para Hawking una suscripción a la revista satírica *Private Eye*. Hoy en día estamos casi seguros de que Cygnus X-1 es un agujero negro, pero la apuesta aún tiene que dirimirse. Para Hawking la apuesta fue una especie de póliza de seguro: después de haber trabajado media vida investigando los agujeros negros sería un desastre descubrir que no existen. En tal caso, al menos le quedaría el consuelo de ganar la apuesta y disfrutar de *Private Eye*.

En 1991, Hawking hizo otra apuesta con sus colegas John Preskill y Kip Thorne. Hawking aseguraba que nunca podríamos observar una singularidad como la que habría en el interior de un agujero negro puesto que nada puede escapar de la región definida por el horizonte. Sin embargo, en 1997 se demostró matemáticamente que, en ciertas circunstancias muy improbables, se podía formar lo que se conoce como una *singularidad desnuda*: un punto de curvatura espacio-temporal infinita sin horizonte. Hawking aceptó a regañadientes la derrota y pagó los 100 dólares de la apuesta, pero mandó imprimir camisetas que decían: “La naturaleza aborrece las singularidades desnudas”.

Ese mismo año, Hawking y Thorne se aliaron y apostaron contra John Preskill a que un agujero negro destruye para siempre la información que se traga. Preskill, y la mayoría de los expertos en el tema, estaban convencidos de que la información no se puede destruir, exigencia parecida a la ley de conservación de la energía, que requiere que en todo proceso la energía sólo se transforme sin destruirse. En 2004 Hawking anunció sorprendentemente que había demostrado... ¡que su contrincante tenía razón! En una reunión científica que se llevó a cabo en Dublín, Irlanda, Haw-

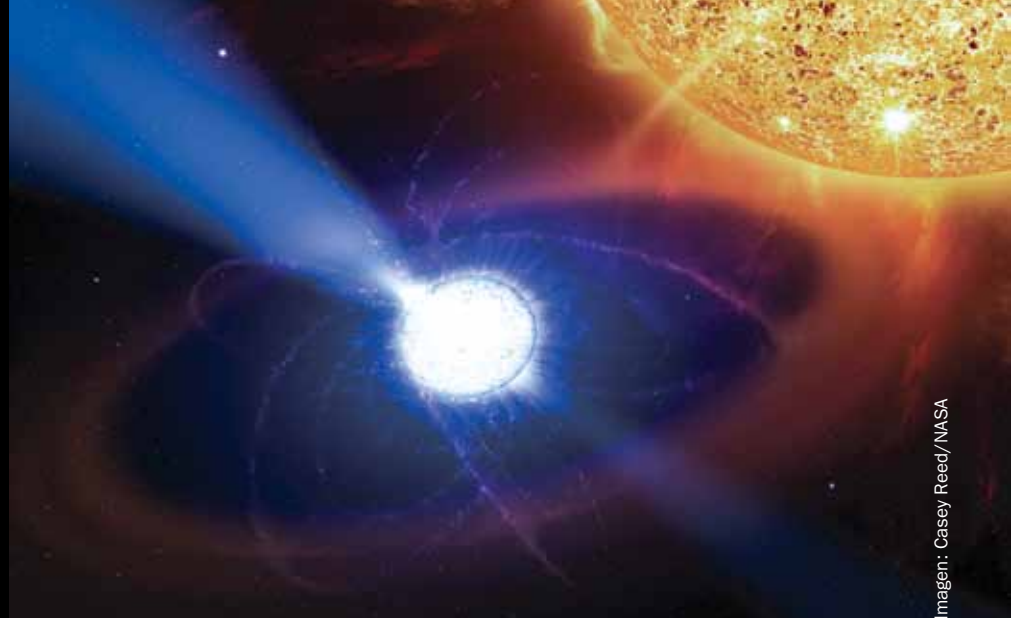


Imagen: Casey Reed/NASA

king le entregó públicamente a Preskill una enciclopedia de béisbol, ya que, según el texto de la apuesta, “el perdedor debía pagar su deuda con la enciclopedia que eligiera el ganador” por ser las enciclopedias objetos de los que es muy fácil sacar información, a diferencia de los agujeros negros. Thorne no le ha concedido la victoria a Preskill.

En 2000, Hawking se jugó 100 libras con el físico Gordon Kane a que nunca se encontraría el bosón de Higgs, la partícula hipotética que se requiere para que todas las demás tengan masa, según la teoría más fundamental de la física contemporánea, llamada *modelo estándar*. Al parecer, los científicos que trabajan con el Gran Colisionador de Hadrones (ver *¿Cómo ves?* No. 114) encontraron el año pasado las primeras huellas de la existencia del bosón de Higgs y todo apunta a que este mismo año se confirmará oficialmente el descubrimiento. Hawking debería parar de hacer apuestas científicas porque siempre pierde.

Superestrella de la física

El trabajo de Hawking le ha merecido el respeto y la admiración de sus colegas. Fue aceptado como miembro de la Royal Society con apenas 32 años, uno de los más jóvenes en los casi 400 años de historia de esa institución. De 1979 a 2009 fue titular de la Cátedra Lucasiana de matemáticas de la Universidad de Cambridge, puesto que alguna vez ocupó Isaac Newton. Y ha recibido premios y distinciones en todo el mundo como para llenar varias páginas. Se podría pensar que la coronación de su carrera sería el premio Nobel, pero eso es muy difícil de conseguir para un cosmólogo cuyo trabajo

es puramente teórico: si todavía no tenemos la certeza absoluta de que existen los agujeros negros, ¿cómo demostrar que éstos emiten radiación de Hawking?

Al mismo tiempo, la popularidad de Hawking ha trascendido los círculos científicos. Sus libros de divulgación se han traducido a decenas de idiomas —el más conocido es *Una breve historia del tiempo*— y se han vendido millones de ejemplares en todo el mundo. Hawking ha sido objeto de múltiples documentales y ha aparecido en diversas series de televisión, tanto de ficción (*Enano rojo*, *Viaje a las estrellas* y apenas el mes pasado en *The Big Bang Theory*) como de dibujos animados (*Los Simpson* y *Futurama*). Hasta su voz fue utilizada en el disco *The Division Bell*, de Pink Floyd, en 1994. Y, a pesar de sus limitaciones físicas, ha disfrutado de aventuras que están al alcance de muy pocos, como viajar a la Antártida y sentir la ingravidez en un avión de la NASA.

El pasado mes de enero la Universidad de Cambridge celebró un simposio en su honor con motivo de su septuagésimo cumpleaños. Hawking no pudo acudir por problemas de salud, pero grabó un emotivo discurso que cerró de esta manera: “Acuérdense de dirigir la vista a las estrellas en vez de mirarse los pies. Busquen entender lo que ven y lo que le da existencia al Universo. Sean curiosos. Y por muy difícil que pueda parecerles la vida, piensen que siempre hay algo que pueden hacer bien. Lo importante es no darse por vencido.”

Daniel Martín Reina, frecuente colaborador de *¿Cómo ves?*, egresó de la carrera Ciencias Físicas de la Universidad de Sevilla, España.

Más información

- www.astromia.com/biografias/hawking.htm
- www.youtube.com/watch?v=0VLXQrY2qAM
- <http://cms.iafe.uba.ar/carmen/ultimoagneg.doc>