



Año Mundial de la Física: Centenario del *Annus Mirabilis*

## DISCURSO DE **STEPHEN HAWKING** EN LA INAUGURACIÓN EN OVIEDO DE LOS ACTOS DEL ANIVERSARIO DE LA **FUNDACIÓN PRÍNCIPE DE ASTURIAS**

**A**ltezas, Sr. Presidente de la **Fundación Príncipe de Asturias**, Sr. Presidente del Gobierno de Asturias, autoridades, colegas laureados con los Premios *Príncipe de Asturias*, señoras y caballeros:

Es para mí un gran honor regresar a España para participar en la ceremonia de apertura del 25 Aniversario de los *Premios Príncipe de Asturias*. Estos Premios nos proporcionan una plataforma internacional para el avance del conocimiento cultural, científico y espiritual de la Humanidad en todo el mundo. Veinticinco años son un aniversario importante en términos humanos, pero yo he venido a hablar del *Rebobinado de la Historia*.

En la escuela, disfrutaba con la Historia. Todos aquellos reinos e im-

perios, su ascenso y decadencia, la sucesión de unos por otros, me fascinaban. En Europa, ascendió y cayó el Imperio Romano. Siguió una época oscura, el período medieval, el Renacimiento, la revolución industrial y los tiempos modernos. En poco más de 2.000 años, menos de una milonésima de la edad del Universo, se ha desarrollado la mayor parte de la Ciencia y la Tecnología.

Consideramos la Historia como una progresión en el tiempo, en la que un acontecimiento provoca otro, y así sucesivamente. Aunque a menudo la conexión causal no resulta obvia, un físico y matemático francés, el **Marqués de Laplace**, formuló el principio de *Determinismo científico*, a comienzos del siglo XIX: conocido el estado del Universo en un instante

dado, las leyes de la Ciencia predicen unívocamente su evolución futura. Se dice que **Napoleón** preguntó a **Laplace** qué papel ocupaba Dios en esta imagen y que Laplace le respondió, "*Señor, no he necesitado esta hipótesis*".

El *Determinismo científico* también funciona retrospectivamente. Conocido el estado del Universo en un instante dado, hay una única historia anterior que ha conducido hasta él. Si es así, ¿por qué no contamos la historia hacia atrás? La razón es que, como habitualmente carecemos del conocimiento completo del estado del sistema, es más probable que podamos predecir su evolución futura que su historia pasada.

Consideremos, por ejemplo, un rompecabezas en una caja y supon-

# El tiempo es un torrente incesante que se lleva todos nuestros sueños

gamos que se halla en el estado ordenado en que todas las piezas encajan. Si agitamos la caja, es probable que el rompecabezas pase a un estado desordenado, en que la figura esté fragmentada y las piezas amontonadas sin regularidad alguna. Sin embargo, como el rompecabezas se hallaría ahora en un estado desordenado, sería muy difícil determinar que su historia anterior procedía del estado completamente ordenado. Para lograrlo, sería necesario conocer con exactitud el estado desordenado actual y el movimiento de la caja durante la agitación.

Esto constituye una manifestación de la denominada Segunda Ley de la Termodinámica, que es la forma científica de expresar con precisión la Ley de **Murphy**: las cosas sólo van a peor. La Segunda Ley afirma que los sistemas evolucionan a estados más desordenados. La razón es simple: hay muchos más estados desordenados que estados ordenados. En el caso del rompecabezas, hay un solo estado completamente ordenado en que todas las piezas encajan, un cierto número de estados con algunos grupos de piezas encajadas entre sí, y un gran número de estados en que la figura está completamente fragmentada y las piezas amontonadas o dispersadas. Si el rompecabezas se halla en un estado parcialmente ordenado, es más probable que agitar la caja lo lleve a uno de los muchos estados más desordenados que a uno de los pocos estados más ordenados. En otras palabras, si agitamos la caja, es probable que fragmentemos aún más la figura. La probabilidad de que ésta se recomponga espontáneamente es muy remota.

La Segunda Ley de la Termodinámica se cumple porque, tal como explicaré posteriormente, el Universo empezó en un estado ordenado. Es a causa de la Segunda Ley que pensamos que el tiempo se mueve hacia delante: El tiempo es un torrente incesante que se lleva todos nuestros sueños.

Es decir, esta ley es la razón por la cual recordamos el pasado pero no el futuro. Realmente no conocemos cómo funciona el cerebro. Los cere-

bros de las mujeres me parecen especialmente misteriosos. Pero resulta razonable suponer que los humanos recordamos en el mismo sentido temporal en que lo hacen los ordenadores. Si éstos recordaran en sentido diferente al de los humanos, podríamos hacer una fortuna en la Bolsa, con un ordenador que nos apuntara los precios de mañana. A diferencia de los cerebros humanos, comprendemos cómo funcionan los ordenadores y es posible demostrar que, cuando un ordenador registra una información en su memoria, la cantidad total de desorden crece. Así, ordenadores, humanos y animales recordamos el pasado y no el futuro.

Debido a la Segunda Ley, habitualmente contamos la historia hacia delante. Decimos que los acontecimientos posteriores son causados por los anteriores, y no que los anteriores ocurrieran para conducir a los posteriores. Este enfoque de abajo a arriba, como lo llamo, o del pasado hacia el futuro, funciona bien en situaciones en que podemos escoger el estado inicial y observar a qué resultado conduce.

Sin embargo, desconocemos cuál fue el estado inicial del Universo y ciertamente no podemos ensayar estados iniciales diferentes y examinar qué tipos de universos producirían.

La razón por la cual desconocemos el estado inicial del Universo es que, tal como **Roger Penrose** y yo mismo demostramos, según la *Teoría General de la Relatividad*, el Universo habría empezado con una gran explosión o *big bang*. En ella, los campos gravitatorios habrían sido tan intensos que el espacio-tiempo estaría en una situación límite en que la teoría general de la relatividad no sería aplicable. Así, la Relatividad general no puede predecir cómo empezó el Universo.

La razón por la cual la Relatividad general deja de ser válida en el *Big*

*bang* es que no tiene en cuenta la teoría cuántica, la teoría de lo muy pequeño. Ésta deviene dominante cuando el universo es muy pequeño, cerca del *Big bang*. Para comprender el origen del Universo, debemos combinar la Relatividad general y la teoría cuántica. La mejor manera de hacerlo es utilizar la idea de una suma sobre historias, propuesta por el físico norteamericano, y percusionista ocasional de tambores de bongo, **Richard Feynman**. Según esta idea, el Universo no tiene una sola historia, como acostumbramos a pensar normalmente, sino todas las historias posibles, cada una de las cuales con su propia amplitud de probabilidad. Habrá una historia en que la Luna esté hecha de queso verde, aunque quizás su probabilidad sea muy pequeña.

Habitualmente, se interpreta la suma sobre historias en un contexto de pasado hacia futuro, es decir, conocido el estado del Universo en un cierto instante, nos permite calcular la probabilidad de que el Universo se halle en un estado diferente en un instante posterior.

Para ello, sumamos las amplitudes de probabilidad de todas las historias posibles que empiezan en el estado inicial considerado y terminan en el estado final en cuestión. Normalmente, una de las historias tiene una amplitud de probabilidad mucho mayor que las otras y le llamamos la Historia del Universo.

¿Cómo podemos utilizar la suma sobre historias para estudiar el origen del Universo, cuyo estado inicial desconocemos? El trabajo de **Penrose** y mío demuestra que su estado inicial debe ser determinado por la teoría cuántica, y que no puede haber sido anterior a unos catorce mil millones de años. En 1983, **Jim Hartle** y yo propusimos una condición inicial para el Universo. Según ella, éste habría aparecido espontáneamente de la nada, como las burbujas de vapor apa-

recen espontáneamente en agua hirviendo. Al igual que las burbujas, el Universo primitivo se expandió rápidamente. Esta condición inicial para el Universo es denominada *Condición de ausencia de fronteras*, porque implica que el Universo es creado espontáneamente de la nada, de acuerdo con las leyes de la Ciencia. Podemos calcular entonces las probabilidades de los diferentes estados en que se podría encontrar el Universo en el presente, sumando las amplitudes de probabilidad de todas las historias que empiezan como una burbuja y terminan en el estado en cuestión.

Si se acepta que la condición de ausencia de fronteras es la prescripción natural para el estado cuántico del Universo, nos vemos conducidos a una visión profundamente diferente de la historia y de la relación entre causa y efecto. Según ella, no deberíamos seguir la historia del Universo

el espacio-tiempo tiene diez dimensiones espaciales y una temporal. La idea es que siete de las dimensiones espaciales están enrolladas sobre sí mismas en un tamaño tan reducido que no nos resultan perceptibles, por lo cual sólo advertimos las tres dimensiones extensas restantes. Pero ¿por qué no hay más dimensiones extensas? ¿Por qué no todas las dimensiones están enrolladas sobre sí mismas?

Hay buenas razones para pensar que la vida sólo es posible en tres dimensiones espaciales. Dos dimensiones no bastan: un animal bidimensional con un tubo digestivo caería en dos pedazos. En cuatro o más dimensiones, las órbitas planetarias y los átomos no serían estables.

Muchos investigadores se resisten a apelar al principio antrópico, que afirma que nuestro Universo se distingue de todos los demás posibles universos por el hecho de conte-

sas. Sin embargo, el valor de esta probabilidad es insignificante, porque no vivimos en 10 dimensiones.

No nos estamos preguntando por las probabilidades de que la dimensionalidad del Universo tenga valores diversos. En lo que respecta a la probabilidad de que haya tres dimensiones espaciales extensas, no es exactamente nula, y no importa cuán pequeña sea en comparación con las de los otros valores de la dimensionalidad. Vivimos en un Universo que parece cuatridimensional, de manera que sólo estamos interesados en las probabilidades de los estados con tres dimensiones espaciales extensas. Esto puede sonar parecido al argumento del principio antrópico de que la razón por la que observamos que el universo es cuatridimensional es que la vida sólo es posible en cuatro dimensiones. Pero aquí el argumento es diferente porque no depende de si cuatro dimensiones son la única posibilidad de existencia de vida, sino que se basa en que la distribución de las probabilidades correspondientes a los otros valores de la dimensionalidad es irrelevante porque ya hemos medido que estamos en cuatro dimensiones.

En la teoría M, las siete dimensiones restantes están enrolladas formando un minúsculo espacio interno. La forma de éste determina los valores de magnitudes físicas, como la carga del electrón, y la naturaleza de las interacciones entre partículas. Es bien sabido que la teoría M tiene muchas soluciones con espacios internos diferentes. Si construimos la historia del Universo de abajo a arriba, del pasado hacia el futuro, no hay razón de que deba terminar en el espacio interno correspondiente a las interacciones que observamos entre las partículas, que es denominado el modelo estándar. Sin embargo, si nos preguntamos por la probabilidad de un estado con un espacio interno dado, sólo estamos interesados en las historias que terminan en dicho espacio interno. Por lo tanto, debemos trazar las historias de arriba abajo - desde el presente al pasado-, es decir, retrospectivamente desde la hipersuperficie actual.

## Cuando un ordenador registra una información en su memoria, la cantidad total de desorden crece

de abajo a arriba -en otras palabras, de pasado a futuro- porque ello supone que existe una sola historia con un punto inicial y una evolución bien definidas. Más bien deberíamos trazar las historias desde el presente hacia el pasado, es decir, retrayéndolas desde la hipersuperficie de medida S correspondiente al instante actual. Las historias que contribuyen a la integral de camino no tienen existencia independiente, sino que dependen del valor de la magnitud que está siendo medida. Así pues, creamos la historia mediante nuestra observación, en lugar de que la historia nos cree a nosotros.

Como ejemplo de ello, consideremos la dimensionalidad aparente del Universo. Según la teoría M, la mejor candidata a teoría física fundamental,

ner seres inteligentes que lo observan. Prefieren creer que existe algún mecanismo que hace que todas las dimensiones menos cuatro se enrollen espontáneamente o bien, alternativamente, que quizás todas las dimensiones empezaron enrolladas en un tamaño minúsculo, pero por algún motivo cuatro de ellas se expandieron y las restantes, no.

Lamento decepcionar estas esperanzas, pero no creo que haya razón dinámica alguna para que el Universo parezca cuatridimensional. En cambio, la propuesta de ausencia de fronteras predice una probabilidad cuántica para cualquier número de dimensiones espaciales extensas, entre 0 y 10. Por ejemplo, habrá una cierta probabilidad de que el Universo tenga diez dimensiones espaciales exten-

# Ya hemos medido que estamos en cuatro dimensiones

Podemos calcular la amplitud de probabilidad del espacio interno correspondiente al modelo estándar tomando como base la propuesta de ausencia de fronteras. Análogamente a lo que ocurre con la dimensionalidad, no importa cuán pequeña sea esta probabilidad en comparación con las de las demás posibilidades. Sería como estar preguntando por la probabilidad de que yo fuera chino. Sé que soy británico aunque la probabilidad de que hubiera sido chino es de hecho más elevada porque hay más chinos.

Análogamente, sabemos que la teoría para bajas energías es el modelo estándar, aunque otras teorías puedan tener una probabilidad más elevada. El modelo estándar rige casi todo lo que experimentamos, toda la Química y toda la Biología. En particular, permite la existencia de cadenas largas de átomos de carbono, que son la base de la vida sobre la Tierra. Es concebible que un espacio interno diferente pudiera permitir una forma de vida completamente diferente. Sin embargo, con la mayoría de los espacios internos, dichas estructuras complicadas no serían estables, de manera que la vida no sería posible.

Aunque las probabilidades relativas correspondientes a estados radicalmente diferentes carecen de importancia, las de los estados vecinos sí resultan relevantes. La propuesta de ausencia de fronteras implica que la amplitud de probabilidad es máxima para las historias en que el Universo empieza en un estado completamente liso. La amplitud se reduce cuanto más irregular es el Universo. Ello significa que el Universo primitivo debió haber sido casi liso, pero con pequeñas irregularidades.

Podemos observar estas irregularidades como diminutas variaciones en las microondas procedentes de las diferentes direcciones del firmamen-

to. Estas diminutas variaciones han sido medidas por el satélite **MAP** y se comprueba que concuerdan exactamente con las predicciones teóricas. Esto constituyó un triunfo para los que las habíamos predicho mucho antes de que se hubiera podido detectar variación alguna.

Las pequeñas irregularidades en el Universo primitivo habrían crecido bajo la influencia de la gravedad y conducido a la formación de galaxias, estrellas y, en último término, a seres considerados inteligentes, como nosotros, que podemos observar el Universo y escoger aquéllas de sus historias que terminan en el estado en que nuestra existencia es posible.

Que la amplitud de dicho estado no sea nula es una predicción de la propuesta de ausencia de fronteras. Quizás **Hartle** y yo la hubiéramos debido patentar y pedirles royalties a todos por su existencia.

En síntesis, enfocar la Cosmología del pasado hacia el futuro, de manera que la historia del Universo transcurra hacia delante en el tiempo, sería apropiado si supiéramos que el Universo tuvo en el pasado una cierta forma particular. Sin embargo, en ausencia de tal conocimiento, es mejor trabajar del presente hacia el pasado, retrayendo desde el estado actual las historias que contribuyen a la integral de camino. Ello significa que las historias del Universo dependen de lo que está siendo medido, al revés de la idea habitual de que el Universo tiene una historia objetiva, independiente del observador. La suma de **Feynman** permite cualquier historia posible del Universo y la observación selecciona aquella subclase de historias que tienen la propiedad que está siendo observada. Hay historias en que el Universo se colapsa tras una existencia muy breve, o en que tiene 11 dimensiones, pero no contribuyen a las probabilidades que medimos. Llamo a esto el *Principio de se-*

*lección*, más que el *Principio antrópico*, porque no depende de la existencia de vida inteligente. Quizás la vida sea posible en 11 dimensiones, pero sabemos que vivimos en cuatro.

¿Qué significa decir que el Universo tiene muchas historias alternativas? ¿Cuál es la historia real? Para contestar preguntas filosóficas tan profundas, creo que debemos adoptar el planteamiento positivista de **Karl Popper** y otros, según el cual una teoría es tan sólo un modelo matemático para describir las observaciones y no tiene derecho a identificarse con la realidad, sea lo que sea lo que esto signifique.

Podría ser que dos modelos muy diferentes lograran describir las mismas observaciones: ambas teorías serían igualmente válidas, y no se podría decir que una de ellas fuera más real que la otra. Según la Filosofía positivista, el conjunto de historias que conducen a un estado con un espacio interno dado, definen un modelo matemático consistente. Hay un modelo para cada espacio interno y, por lo tanto, un número muy elevado de universos posibles.

Estos resultados constituyen una decepción para los que esperaban que la teoría última predijera la Física que conocemos. No podemos predecir caracteres discretos como el número de dimensiones extensas del Universo o el espacio interno que determina las magnitudes físicas que observamos, sino que usamos éstos para seleccionar las historias que contribuyen a la suma. Parece que existe un amplio panorama de espacios internos admisibles.

Vivimos en una región permitida antrópicamente, en la cual la vida es posible, pero creo que habríamos podido escoger un lugar algo mejor.

Gracias y buenas noches. ■

Stephen Hawking