

SI MUOVE

NÚMERO 14 - EDICIÓN ESPECIAL



PLANETARIO
Galileo Galilei - Buenos Aires

50 Aniversario
1967 - 2017

Un análisis acerca de lo que significa esta idea

EL MITO DEL MULTIVERSO

Por Dr. Gabriel R. Bengochea, Investigador del CONICET, Grupo de Teorías Cuánticas Relativistas y Gravitación del IAFE, Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-Universidad de Buenos Aires). Presidente del CAIFA*.



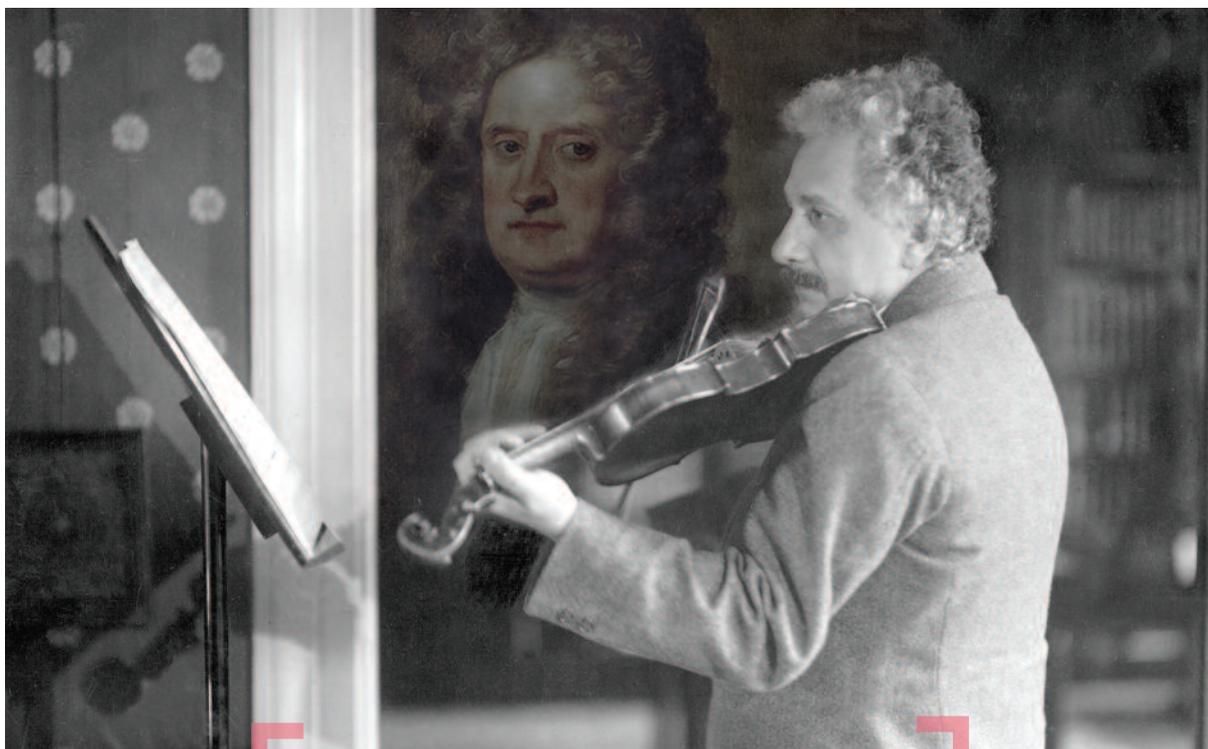
La cosmología es una ciencia antiquísima. Como ciencia, trata acerca de cómo son la estructura y la evolución en el tiempo del universo a gran escala. Desde hace unos 100 años, con la formulación de la teoría de la Relatividad General de Einstein, existe la cosmología física moderna. Y es con esta teoría con la que hemos podido construir lo que hoy llamamos el modelo del Big Bang.

SI BUSCAMOS UNA DEFINICIÓN PARA LA PALABRA "UNIVERSO", ENCONTRAMOS POR EJEMPLO: CONJUNTO DE TODO LO QUE TIENE EXISTENCIA FÍSICA, EN LA TIERRA Y FUERA DE ELLA. Sin embargo, algunas ideas recientes sugieren que tal vez exista ahí afuera algo más, lo que desafía esa definición. No sería uno, sino muchos universos conformando algo llamado el *Multiverso*; y cada uno de esos posibles universos, con leyes físicas literalmente diferentes a las que conocemos y con las cuales explicamos todo lo que percibimos. Por ejemplo, serían distintas las leyes con las que describimos el átomo, el movimiento de los planetas, la electricidad, el magnetismo y todos los experimentos de laboratorio que se nos vienen a la mente. ¿Podría ser esto posible? Quizás. Pero analicemos un poco más de cerca de qué se trata esta idea.

Como punto de partida resulta imprescindible des-

tañar que, al día de hoy, no tenemos evidencia observacional que dé sustento de manera indudable a la hipótesis de otros universos. Y puesto que si tales universos existiesen no estarían conectados entre ellos, una evidencia *directa* de su presencia sería extremadamente improbable de lograr. Ciertos autores han propuesto que algunos efectos podrían ser detectados en futuras observaciones, por ejemplo, a través del fondo cósmico de microondas¹, si nuestro universo hubiera colisionado con otro.

Pero, cualquier indicio que hoy sugiera tal existencia es pura especulación; a la fecha, las menciones empíricas que recurren al Multiverso podemos explicarlas con otros argumentos diferentes y menos especulativos. De hecho, hay modelos cosmológicos alternativos que son consistentes con las observaciones actuales y no contemplan un Multiverso. Aclarado el punto de la no evidencia observacional, veamos la parte teórica.



La física clásica de Newton o Einstein serían muy buenas aproximaciones macroscópicas a leyes cuánticas microscópicas más generales.

Lo que suele denominarse a veces "*Teoría del Multiverso*", resulta que no es tal cosa. No es una teoría en el sentido formal. Más bien son consecuencias que surgen a partir de algunas interpretaciones de teorías existentes, y también de teorías que aún se encuentran en desarrollo. Estrictamente hablando, y como se mencionó arriba, no necesitamos del Multiverso para explicar algún experimento o hecho observacional. Se trata más bien de un dolor de cabeza que de una solución. Veamos los enfoques más mencionados en la divulgación que hablan de este tema: los muchos mundos de Hugh Everett², el Multiverso inflacionario y el *Landscape* (paisaje) de la Teoría de Cuerdas.

Muchos mundos de Hugh Everett

El enfoque de "*muchos mundos*" de Everett aparece como una de las tantas interpretaciones existentes de la física Cuántica. La física Cuántica es una de las teorías de fondo que abre las puertas a todo este asunto. Dicha teoría describe, a través de ecuaciones matemáticas, cómo es la evolución en el tiempo del estado de un sistema físico. Nos permite también calcular probabilidades de obtener ciertos resultados si llevamos a cabo un experimento y hacemos alguna medición del sistema en estudio. Por ejemplo, nos dice cómo obtener predicciones para los niveles de energía del átomo, propiedades de las partículas elementales, etc. Es una teoría muy sólida y muy contrastada experimentalmente. De hecho, pensamos que des-

cribe la física de todo el universo. Esto significa que la física clásica de Newton o Einstein serían muy buenas aproximaciones macroscópicas a leyes cuánticas microscópicas más generales.

La cuestión es que, cuando ahondamos en la física Cuántica, nos encontramos con que podría no estar completa tal como la conocemos ahora. Si bien esta teoría funciona en general muy bien, y las predicciones se observan en el laboratorio, sabemos que algunas cosas no cierran. Una de ellas es lo que se conoce como "*el problema de la medición*", y tiene que ver con que si un sistema (una partícula, por ejemplo) se encuentra en una superposición de estados posibles de la propiedad física X, para que luego X tome un valor definido, siempre necesitamos hacer mediciones. Ya sea con aparatos, con observadores o con algo que actúe como tales. Pero, dentro de la teoría Cuántica, el concepto de qué constituye una medición no está formalmente definido. Y además, ¿qué sucede en el caso de la cosmología, donde queremos describir el inicio del universo, cuando no había aparatos ni observadores que hicieran mediciones? Volveremos a esto hacia el final del artículo.

En gran parte, debido a este problema de la medición, han surgido varias interpretaciones de la física Cuántica. Una de ellas es la interpretación de "*muchos mundos*" de Hugh Everett, formulada a partir de fines de los '50: dice que cada vez que se hace una medición sobre un sistema, se produce una bifurcación en el mundo. En

nuestro mundo el resultado de esa medición es cierta cosa, pero los otros posibles resultados se han dado en otros universos. Lo cierto es que no está claro en este enfoque qué constituye haber hecho una medición. O también, podemos preguntarnos: si no hay aparatos que midan, ni observadores presentes... ¿qué cosa es la que realiza la medición para que se bifurquen los caminos posibles?, ¿cuándo sucede esa bifurcación explícitamente?, ¿para quién sucede?, ¿qué ocurre en los otros posibles universos?, ¿existían antes o fueron creados después de la medición?, ¿podemos probar algo experimentalmente acerca de si existen o no los otros universos?, ¿cuáles son las predicciones calculables concretas?, ¿constituye todo esto una teoría predictiva o es sólo un intento de explicación de algo?

En conclusión, no es cierto que el enfoque de Everett resuelva el problema de la medición de la física Cuántica; así que la idea de que podrían existir "muchos mundos" es por el momento tan sólo otra hipótesis, que no ha conducido a la conformación de una teoría científica predictiva, y por lo tanto no puede corroborarse experimentalmente.

El Multiverso inflacionario

Sigamos con el siguiente enfoque, quizás más popular que el anterior, y a la vez técnicamente mejor planteado. A principios de la década de los '80 se postuló que si el universo hubiera sufrido durante un brevísimo lapso de tiempo una expansión acelerada muy rápida, conocida como *inflación cósmica*, ciertos problemas que tenía el modelo original del Big Bang podrían solucionarse.

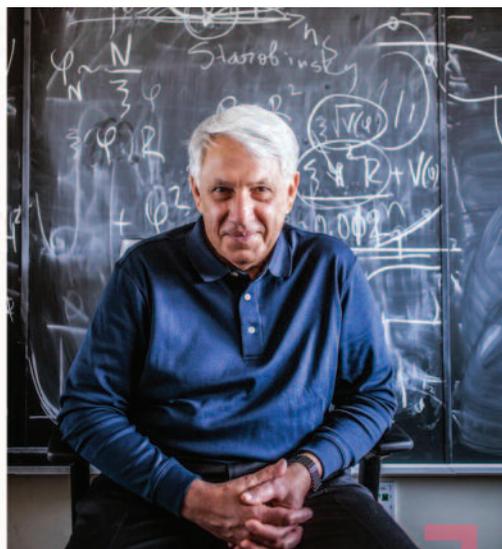
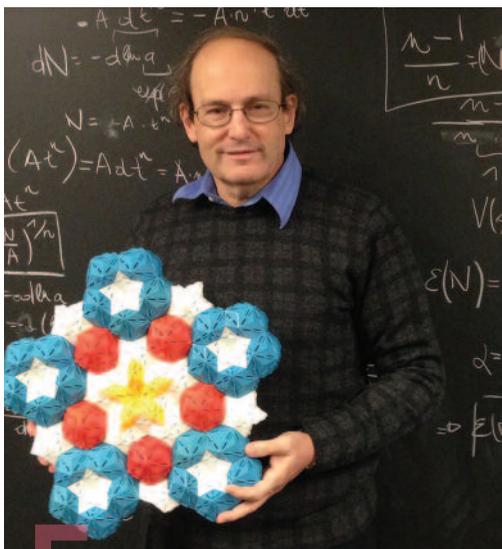
Rápidamente, algunos investigadores empezaron a pensar que esa tremenda expansión inflacionaria podría haber generado tanto volumen disponible en el

universo, que habría espacio no sólo para el universo que vemos, sino para muchos otros diferentes, conformando un Multiverso.

Esta posibilidad, sin embargo, hoy está descartada por las observaciones del fondo cósmico de microondas realizadas con el satélite Planck en 2015. Pero existía otra posibilidad. Hubo quienes encontraron que ese proceso de inflación en algunos lugares podría estar repitiéndose eternamente por efectos cuánticos, mientras que en otros sitios podría finalizar, a tiempos distintos, generándose así nuevos universos diferentes; una vez más, formando un Multiverso. Paul Steinhardt, uno de los padres de la inflación cósmica y ahora uno de los fervientes detractores, nos dice: ¡Cuidado! Resulta que las regiones en donde la inflación terminó y acabaron con las propiedades idénticas a nuestro universo, son exponencialmente suprimidas, y por ende, muy poco probables de haber ocurrido, a menos que se escojan condiciones iniciales extremadamente particulares. Pero justamente evitar esto fue una de las motivaciones originales del paradigma inflacionario [1].

La Teoría de Cuerdas

Estas ideas podrían haber muerto ahí, si no hubiesen recibido un nuevo impulso que las volvió a motivar. Esta reactivación vino de la mano de un problema actual de la física teórica de altas energías. Desde hace mucho tiempo, existen intentos de hallar una teoría que unifique en una sola ecuación a todas las interacciones fundamentales conocidas. Y en especial, hay una búsqueda de una teoría cuántica de la gravedad. La gravitación de Einstein (1915) no posee al día de hoy una versión cuántica para explicar eventos tales como el interior de agujeros negros o el origen del universo.



Paul Steinhardt es uno de los padres de inflación cósmica, pero ahora se ha convertido en uno de los fervientes detractores. Aurei Linde, otro de los fundadores del modelo inflacionario, es quien impulsó las ideas de inflación eterna y Multiverso.

El esfuerzo más difundido para realizar estas unificaciones es la Teoría de Cuerdas. A pesar del enorme trabajo ya hecho, aún no es una teoría terminada.

La versión más prometedor de la Teoría de Cuerdas es consistente matemáticamente si el espacio-tiempo tuviera en realidad 9 dimensiones espaciales y no 3 (10 en total si contamos el tiempo). Y presupone, además, que la teoría Cuántica es correcta así como hoy la conocemos. La cuestión es: ¿dónde están las otras 6 dimensiones que no vemos en la vida cotidiana? El mecanismo para explicar por qué no vemos las otras seis, nos lleva a que hay muchísimas maneras diferentes de lograr eso. Y cada una de esas maneras correspondería a un universo, literalmente, con leyes de la física diferentes al nuestro, conformando lo que se conoce como "el problema del *Landscape*" (paisaje) de Teoría de Cuerdas. Frente a esta circunstancia, alguien podría proponer lo siguiente: "Encontremos en cuál de todos esos casos posibles las condiciones fueron tales que hoy valen nuestras leyes conocidas y nosotros podemos vivir allí, y entonces ése corresponderá a nuestro universo. Y los demás, son universos diferentes que constituyen el Multiverso inflacionario de los '80".

Esta línea de razonamiento parece tomar una postura un tanto antropocéntrica, para una empresa que justamente debería poder *predecir* cómo es que nuestro universo y nosotros mismos surgimos, y no dar simplemente una explicación.

Esto es un verdadero dolor de cabeza. Pretendemos que una teoría científica completa pueda predecirnos cómo es que se formó nuestro universo, y no sólo darnos una explicación en el marco de otras infinitas posibilidades. Pero es aquí donde el Multiverso inflacionario y el *Landscape* de Teoría de Cuerdas hicieron causa común, y algunos autores propusieron que "¡nuestros universos inflacionarios son todos los universos que ustedes encuentran!" [2].

El inconveniente con este enfoque es que ni siquiera hemos terminado de entender problemas que aún persisten en el modelo inflacionario; no tenemos una teoría cuántica de la gravedad terminada y verdaderamente predictiva; no existe ningún experimento u observación que avale estas ideas de muchos universos y, probablemente, jamás tengamos una predicción que pueda ser contrastable y nos diga de manera unívoca que esos otros universos realmente existen.

Hacia un nuevo enfoque de la física Cuántica

Saquemos algunas conclusiones. Tenemos teorías clásicas que en lo cotidiano y macroscópico explican innumerables situaciones extraordinariamente bien, pero en última instancia el universo debe ser cuántico. Y cuando uno quiere usar las ecuaciones de la física Cuántica para entender el principio del universo, nos encontramos con problemas. Al igual que en un laboratorio, necesitamos de algo que actúe "como una medición", para que en el universo (por lo menos en el que sí observamos) surjan las semillas primordiales de la materia. ¡Pero al comienzo del universo no había aparatos ni observadores! Una parte de la comunidad científica piensa que falta un ingrediente en nuestro entendimiento de cómo surgió el universo que observamos, y en eso trabajamos particularmente. Por todo esto, la idea del Multi-

verso nos parece demasiado especulativa y enmarcada en teorías que ni siquiera terminamos de entender y formular. Guiados fundamentalmente por ideas de Roger Penrose y Lajos Diósi [3-4], y más recientemente por Daniel Sudarsky para el caso cosmológico [5], pensamos que quizás la física Cuántica necesite ser completada, modificando sus ecuaciones para que cosas tales como las semillas primordiales en el universo temprano puedan emerger sin apelar a factores externos, como aparatos de medición, observadores, etc. Estas modificaciones podrían servir de nuevas guías para una teoría cuántica de la gravitación. Existen algunas propuestas sobre cómo hacer tales modificaciones, y con esas propuestas algunos investigadores en el mundo (nosotros en Argentina incluidos) ya hemos hecho cálculos y predicciones contrastables con experimentos [6-8]. ■

1 Fondo Cósmico de Microondas: radiación electromagnética que llega de todas direcciones, en el rango de frecuencias de microondas, cuyo origen se vincula a la época de formación de los primeros átomos, unos 380 mil años después del Big Bang. Predicha teóricamente en 1948 y detectada por primera vez en 1965, constituye una de las evidencias más notables a favor del modelo del Big Bang. Las mediciones de este fondo cósmico nos permiten conocer mejor el universo temprano y poner a prueba nuestros modelos acerca del origen de las estructuras en el universo.

2 Hugh Everett (1930-1982) fue un ingeniero químico, matemático y físico estadounidense, quien propuso la idea de "muchos mundos" como una de las tantas interpretaciones actuales de la teoría cuántica que busca dar una solución al problema de la medición.

Referencias

- 1- A. Ijjas, P. Steinhardt, A. Loeb, *Phys.Lett.*B723 (2013), 261.
- 2- A. Linde, "A brief history of the Multiverse", <https://arxiv.org/pdf/1512.01203v1.pdf>
- 3- L. Diósi, *Phys. Lett. A* 120, (1987) 377.
- 4- R. Penrose, *Gen. Rel. Grav.* 28, (1996) 581.
- 5- A. Pérez, H. Sahlmann y D. Sudarsky, *Class. Quant. Grav.* 23 (2006), 2317.
- 6- S. J. Landau, C. G. Scoccola y D. Sudarsky, *Phys. Rev. D* 85 (2012), 123001.
- 7- G. R. Bengochea, P. Cañate y D. Sudarsky, *Phys. Lett. B* 743 (2015), 484.
- 8- G. León y G. R. Bengochea, *Eur. Phys. J. C* 76 (2016), 29.

El autor: Gabriel Bengochea es Licenciado y Doctor en Ciencias Físicas de la Universidad de Buenos Aires, realizó estudios post-doctorales en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA) y es Investigador del CONICET, donde forma parte del Grupo de Teorías Cuánticas Relativistas y Gravitación del IAFE. Hizo estadías en el Departamento de Gravitación del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, México. Trabaja en cosmología observacional, modelos de energía oscura y cosmología inflacionaria. Es presidente y coordinador de las actividades de divulgación del grupo de aficionados a la astronomía CAIFA (* Club de Astronomía Ing. Félix Aguilar, fundado en 1980: www.caifa.com.ar), y conduce el programa de radio *Paralaje Científico*.