



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

**Lectio del prof. Dr. Barry
Clark Barish pronunciada en
el acto de su investidura como
Doctor 'Honoris Causa' por la
Universitat de València**

València, 31 de mayo de 2022

Permítanme comenzar agradeciendo este honor a Maria Vicenta Mestre Escrivà, rectora, y a la Universitat de València. También deseo dar las gracias especialmente a mi amigo y colega, el profesor Juan Fuster, por el apoyo que me ha ofrecido.

ALGUNAS COSAS SOBRE MÍ

Hoy comenzaré hablándoles un poco sobre mí mismo. Nací en Omaha, Nebraska, en los Estados Unidos. Mis padres eran personas de clase trabajadora y ninguno de los dos fue a la universidad, pero siempre me alentaron a progresar en los estudios. Nos mudamos a California cuando yo tenía diez años y empezamos a vivir cerca de Hollywood, donde contar historias y hacer películas era el eje de la vida cultural. No es de extrañar que, a eso de los trece años, yo quisiera ser escritor de ficción. No fue hasta el instituto, donde estudié álgebra, cálculo y algunas materias de ciencia, cuando decidí dedicarme a seguir mis estudios en algún campo técnico. Para mí, eso significaba ingeniería e ingresé en la Universidad de California en Berkeley.

En Berkeley elegí física, rápidamente llegué a amarla y la convertí en mi carrera desde aquel momento hasta el presente. En Berkeley también conocí a mi esposa, así que aquel fue para mí un momento transformador. Tras obtener mi doctorado, fui a Caltech como investigador postdoctoral y llevo allí desde entonces como catedrático. De estudiante, mi modelo a seguir era Enrico Fermi, el gran físico italiano, quien me inspiró a adentrarme en la física nuclear y de partículas. En Caltech tuve

la fortuna de tener a Richard Feynman como amigo y colega durante muchos años; él también tuvo una gran influencia en mi carrera.

En cuanto a mi carrera profesional, he sido físico de partículas, he realizado experimentos con los principales aceleradores del mundo e incluso he diseñado algunos. Pero la física por la que recibí el Premio Nobel fue el descubrimiento de ondas gravitacionales, de las que hablaré hoy, espero que a un nivel que les ofrezca una idea sobre qué fue lo que descubrimos y por qué es importante. Así que, permítanme comenzar.

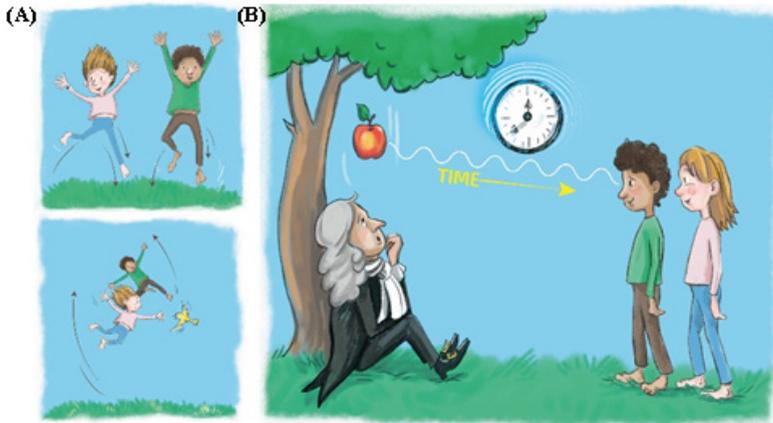
Imaginen que pudieran elegir un nuevo par de ojos que les ayudaran a ver cosas que nunca antes hubieran sido capaces de ver. Tal vez elegirían la visión de rayos X, como en las películas, o quizá preferirían aguzar la vista hacia las cosas minúsculas y observar las maravillas del mundo microscópico. La ciencia ha recibido recientemente un nuevo par de ojos, una nueva forma de observar los misterios del universo, empleando ondas gravitacionales, que son ondas producidas por la gravedad misma. En los próximos minutos les guiaré en un viaje que inicia con una explicación de la gravedad, desde la perspectiva clásica de Isaac Newton hasta la visión moderna y más compleja de Albert Einstein. A continuación, explicaré cómo los movimientos de objetos masivos crean ondas gravitacionales, que son ondulaciones en el espacio y el tiempo, y cómo pueden emplearse para explicar los misterios del universo e, incluso, ayudarnos a comprender los orígenes de nuestro propio planeta Tierra.

LA GRAVEDAD: DE NEWTON A EINSTEIN

Comencemos nuestro viaje en 1687, cuando el gran matemático y físico inglés sir Isaac Newton publicó su famoso libro, los Principia, en el que presentaba su teoría unificada de la gravedad: la primera teoría “universal” en la ciencia. Explicaba la gravedad, ya sea en la manzana que cae del árbol, en la Luna que gira alrededor de la Tierra, en la Tierra alrededor del Sol, en las mareas o en todos aquellos fenómenos en los que interviene esta fuerza. La teoría de Newton afirmaba que la fuerza gravitacional entre dos objetos es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. Esto puede sonar complicado, pero significa que cuanto mayor masa tienen los objetos y cuanto más cerca se encuentran entre sí, más fuerte es la fuerza gravitacional que ejercen los unos sobre los otros. La teoría de Newton es la de mayor éxito en toda la historia de la física. Sin embargo, resulta que la maravillosa teoría de Newton tiene algunas limitaciones.

¿Se han preguntado alguna vez por qué, cuando una manzana cae de un árbol, esta cae hacia abajo y no hacia arriba? ¿Por qué al saltar volvemos a la Tierra en lugar de salir volando? La teoría de Newton no ofrece una respuesta para esta sencilla pregunta. Tan solo nos dice la cantidad de fuerza gravitacional que los dos objetos ejercen el uno sobre el otro, como la fuerza entre la manzana y la Tierra o entre ustedes y la Tierra. La teoría de Newton no da cuenta de la dirección de la fuerza, ya sea para acercar los dos objetos o para alejarlos el uno del otro. Es más básica; explica qué causa la fuerza gravitacional en primer lugar.

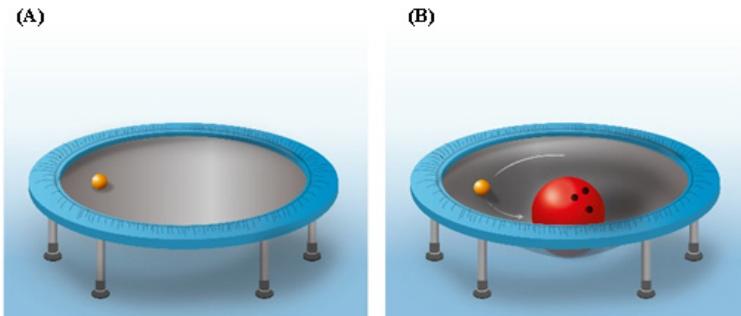
La segunda dificultad con la teoría de Newton es un poco más difícil de entender. Imaginen que el Sol desapareciera de pronto. Si desapareciera ahora mismo, pasarían unos ocho minutos antes de que pudiéramos ver que ha dejado de estar ahí, porque la luz tarda ocho minutos en llegar a nosotros desde el Sol. Esto es aplicable a todo lo que sucede en el universo: la información tarda tiempo en viajar desde un evento hasta un observador. Cuando una manzana cae de un árbol, el observador tarda algún tiempo (aunque sea apenas una pequeña fracción de segundo) en saber lo que ha sucedido. La teoría de Newton no tiene en cuenta este intervalo de tiempo, por lo que, de acuerdo con ella, el observador ve caer la manzana exactamente en el mismo momento en que realmente cae. Nosotros sabemos que esto no es posible; por lo tanto, concluimos que hay algo que falta en la teoría de Newton.



¿Cómo podemos resolver estos problemas de la teoría de Newton? Más de 200 años después de Newton, el querido físico Albert Einstein llegó a una solución. En 1915, Einstein

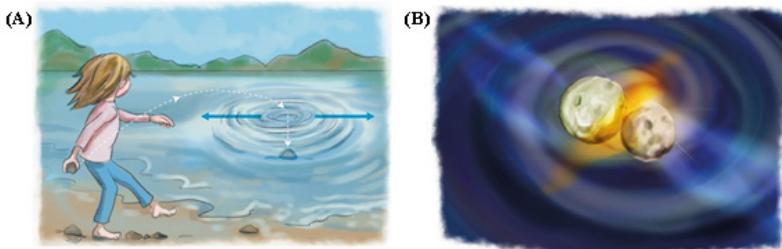
publicó una nueva teoría de la gravedad llamada teoría de la relatividad general. La teoría de Einstein incorpora una forma completamente diferente de describir la gravedad que nos permite entender lo que la teoría de Newton no era capaz de explicar. Esto no significa que la teoría de Newton estuviera equivocada, solo significa que estaba incompleta y que la nueva teoría nos ayuda a entender las cosas de una manera más profunda. La teoría de Einstein afirma que, alrededor de cualquier objeto masivo, el espacio y el tiempo están distorsionados o curvados, y esto crea una atracción hacia dicho objeto.

Imaginen que ponemos una canica sobre una superficie plana, que puede ser una membrana estirada o una cama elástica. La canica se quedará donde la hemos puesto. Sin embargo, si ponemos una bola de bolos en el centro de la cama elástica, su superficie se curvará de tal manera que la canica caerá hacia el centro de la cama elástica. La presencia de la pesada bola de bolos habrá distorsionado el espacio ocupado por la cama elástica en tal medida que la canica se desplazará hacia la gran bola, como si fuera atraída por ella. Eso es básicamente lo que sucede en la teoría de la relatividad general de Einstein. La presencia de cualquier masa distorsiona el espacio que la rodea de tal manera que crea una atracción entre masas. Esta imagen de la gravedad responde a la pregunta que Newton no pudo responder: ¿por qué (y cómo) la gravedad crea una fuerza atractiva y por qué caemos hacia la Tierra cuando saltamos? El segundo problema, el relacionado con el tiempo, también fue resuelto por Einstein porque su teoría tiene en cuenta la velocidad de la luz.



¿QUÉ SON LAS ONDAS GRAVITACIONALES?

Una de las predicciones de la teoría de la relatividad general de Einstein es que la gravedad debería tener ondas: ondas gravitacionales. Una forma sencilla de pensar en las ondas gravitacionales es imaginarse a uno mismo junto a un estanque de aguas quietas... y entonces lanzar una piedra al agua. La piedra impacta en la superficie del agua y se hunde hasta el fondo del estanque. Si bien la piedra ahora yace inmóvil en el fondo del estanque, todavía podemos ver su efecto sobre la superficie del agua, donde las ondulaciones (u olas) se mueven desde el punto de entrada de la piedra hacia el exterior (Figura 3A). Esta es también la forma de visualizar lo que sucede con las ondas gravitacionales. Lo que produce una onda gravitacional no es la caída de una piedra en un estanque, sino más bien el movimiento o la colisión de objetos masivos en el espacio.



DESAFÍOS Y ÉXITOS DE LA DETECCIÓN DE ONDAS GRAVITACIONALES

Después de que la teoría de Einstein predijera la existencia de ondas gravitacionales, los físicos experimentales comenzaron a tratar de detectarlas. Yo mismo he dedicado más de 20 años de mi vida a desarrollar métodos para detectarlas y aún sigo haciéndolo. Resulta que, en lo que respecta a ondas gravitacionales, tenemos una gran desgracia y una gran fortuna. La desgracia es que actualmente no podemos generar ondas gravitacionales en nuestros laboratorios, porque son demasiado débiles para que podamos detectarlas con las técnicas de las que disponemos. Esto es una desgracia porque los buenos experimentos son aquellos en los que entendemos todos los fenómenos que participan, y eso es algo que se consigue en un laboratorio.

Por otro lado, tenemos la gran fortuna de que la naturaleza, por sí misma, crea ondas gravitacionales que son mucho más fuertes que cualquiera que pudiéramos generar en nuestro laboratorio. Esto significa que algunos eventos astronómicos —mencionaré dos de ellos— crean ondas gravitacionales que pueden detectarse potencialmente con nuestros detectores actuales de última generación. Si bien deben ser los eventos astronómicos más violentos y energéticos del universo para que podamos detectarlos, se producen con frecuencia suficiente como para permitirnos estudiarlos. Los eventos más violentos del universo son las explosiones y colisiones de objetos extremadamente densos y pesados.

En lo que respecta a violentas colisiones en el espacio, las más energéticas son las colisiones de objetos compactos masivos, como los agujeros negros y las estrellas de neutrones. Los agujeros negros son los objetos más masivos conocidos en el universo y presentan una atracción gravitacional tan poderosa que “engullen” cualquier cosa que se acerque a ellos, estrellas incluidas. Nada puede escapar desde el interior de los agujeros negros, ni siquiera la luz. De ahí su nombre. Las estrellas de neutrones son los restos de estrellas que han consumido todo su combustible y han colapsado. Son extremadamente densas y están formadas principalmente por partículas subatómicas neutras llamadas neutrones.

En 2015, mis dos colegas, Rainer Weiss y Kip Thorne, y yo descubrimos las primeras ondas gravitacionales. Recibimos el Premio Nobel de Física apenas dos años después, en 2017. Por lo general, pasan al menos 20 años antes de que los científicos reciban un Premio Nobel por su trabajo, pero el descubrimiento de ondas gravitacionales fue de especial importancia. Desde aquellas primeras observaciones de ondas gravitacionales procedentes de la colisión de dos agujeros negros, hemos detectado colisiones entre estrellas de neutrones.

CÓMO DETECTAMOS LAS ONDAS GRAVITACIONALES

Cuando detectamos ondas gravitacionales, lo que realmente medimos son las distorsiones (ondulaciones) que estas crean en el espacio y el tiempo. Cuando estas distorsiones llegan a nuestros

detectores, son increíblemente pequeñas, mucho más pequeñas incluso que el tamaño de un solo protón. Para medir señales tan pequeñas, nuestros detectores deben tener una precisión mayor al 1/1000 del tamaño de un protón. Como podrán imaginar, esto es extremadamente difícil de lograr y requiere el uso de una técnica muy especial llamada interferometría. No la describiré aquí en detalle, pero la interferometría utiliza las interacciones entre rayos láser para detectar contracciones y expansiones del espacio muy pequeñas. Para realizar mediciones tan sensibles, debemos aislar nuestro equipo para que nada pueda perturbar nuestras mediciones: incluso el más leve movimiento podría superponerse a la señal que buscamos. Una fuente de perturbación es el movimiento de la propia Tierra, que tiembla mientras gira sobre su eje (este temblor es demasiado suave para que lo percibamos los humanos, pero es detectable por instrumentos sensibles). Esto significa que necesitamos que nuestro instrumento de medición flote para que no recoja los movimientos de la Tierra.

Construir instrumentos para medir las ondas gravitacionales ha sido un reto extremadamente difícil. El instrumento que utilizamos se llama LIGO, por las siglas en inglés de Observatorio de Ondas Gravitacionales de Interferómetro Láser. LIGO tiene una longitud de algunos kilómetros. Construirlo y operarlo ha costado más de mil millones de dólares. Gran parte de mi trabajo sigue consistiendo en desarrollar tecnologías que nos permitan alcanzar una mayor sensibilidad en la detección de ondas gravitacionales, sin que movimientos no deseados echen a perder nuestras mediciones. Mucha gente me pregunta si no es frustrante trabajar en el mismo problema durante más de

20 años. ¡Mi respuesta es absolutamente no! Me he divertido mucho resolviendo los problemas que iban surgiendo y es un gran privilegio hacer algo que nadie ha hecho nunca antes.



ONDAS GRAVITACIONALES: UNA NUEVA VENTANA AL UNIVERSO

¿Cuál es la importancia de las ondas gravitacionales en la comprensión del universo? En primer lugar, las ondas gravitacionales nos ayudan a verificar si la teoría de la relatividad general de Einstein es realmente correcta o si quizá, como sucedió con Newton, es necesaria una teoría más allá de la de Einstein.

En segundo lugar, las ondas gravitacionales pueden ayudarnos a ver el universo de una manera totalmente nueva y apenas estamos en los inicios de las observaciones de LIGO. Es un poco como cuando Galileo Galilei, hace 400 años, miró al cielo por

primera vez con un telescopio y descubrió que Júpiter tenía cuatro lunas. Podemos utilizar las ondas gravitacionales para mirar el universo de una manera completamente diferente con un “telescopio gravitacional”. Con suerte, lo que aprenderemos será tan valioso como lo que se ha aprendido usando telescopios desde la época de Galileo.

COMENTARIOS FINALES

He tenido la fortuna de haber tenido una carrera rica y gratificante, una esposa y una familia maravillosas, y muchos momentos felices. El hecho de ser un científico estadounidense reconocido aquí en España, valida la afirmación de que “la ciencia no tiene fronteras”. Hablamos el mismo idioma de la ciencia, independientemente de si estamos en California, en España o en Rusia. Tan solo espero que podamos hacer lo mismo entre los países del mundo.

Gracias.

