

Cien años de genialidad

A las 11.53 del 14 de septiembre de 2015 la pantalla del físico de guardia Marco Drago, en el Instituto Max Planck (Hannover, Alemania), le indicaba la entrada de un correo automático desde los sensores del complejo experimental LIGO (Estados Unidos). ¿Su contenido?, los datos de una colosal evidencia empírica esperada por casi veinticinco años y predicha por Einstein casi un siglo antes. El regalo perfecto para el cumpleaños número cien de la Teoría General de la Relatividad.

Guillermo Mattei - gmattei@df.uba.ar

“Y que todo lo escrito en ellos era irreplicable desde siempre y para siempre, porque las estirpes condenadas a cien años de soledad no tenían una segunda oportunidad sobre la tierra”, escribía el gran Gabo García Márquez. Si de Teoría General de la Relatividad hablamos, el caso de los cien años transcurridos entre los 25 de noviembre de 1915 y de 2015, no fueron de soledad. En la primera fecha, Albert Einstein sintetizaba magistralmente, en un conjunto de bellas ecuaciones, la danza entre la geometría del espacio-tiempo y sus fuentes materiales. Setenta y seis días antes de la segunda fecha, un millar de científicos demostraban empíricamente, por medio de un bello experimento, algunos de los pasos más notables de esa danza cosmológica. Einstein, irreplicable. Einstein condenado a cien años de genialidad, como mínimo.

Una mente más que brillante

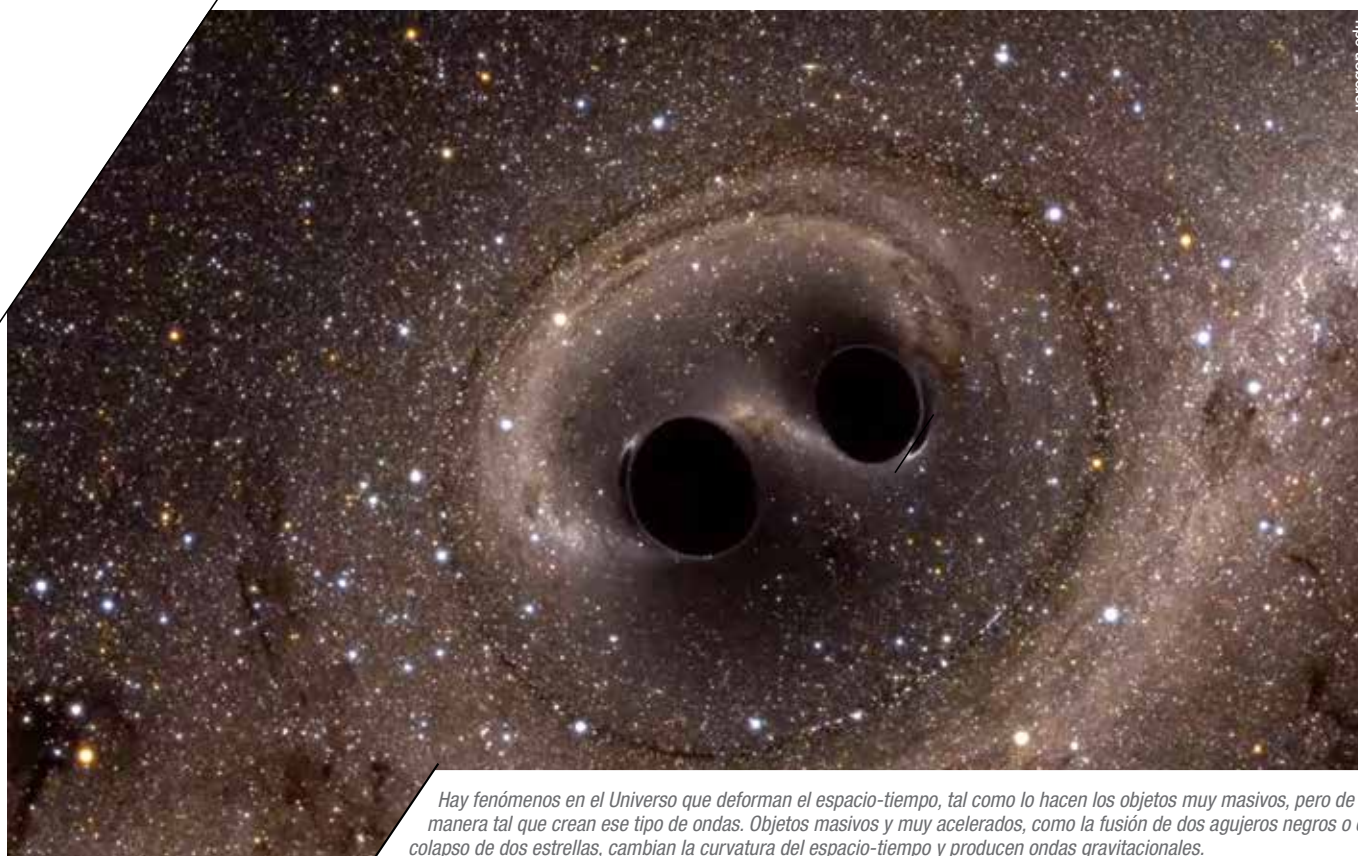
Probablemente Albert Einstein sea una de las mentes más brillantes, en la jerga

de la filosofía científica, del bloque espacio-temporal completo del género humano. Esto dicho en algún sentido, en alguna hipotética escala. Aquellas y aquellos formados en física universitaria no pueden dejar de captar indubitablemente esta superlatividad.

Por ejemplo, Lee Smolin, físico fundador del prestigioso Instituto Perimeter (Canadá), reflexiona: “Einstein fue diferente, quizás tanto como lo fue Newton. ¿Por qué?, Einstein fue un gran narrador. Tenía un agudo olfato para perseguir y sostener la coherencia narrativa de un relato”. Para los científicos de su tiempo, la equivalencia newtoniana entre la resistencia a la fuerza –la inercia– y el peso –la masa gravitacional– era sólo una imposición matemática extra sobre las famosas ecuaciones que hoy aprenden los adolescentes del mundo en las escuelas. Pero Einstein podía ver que esa equivalencia necesariamente tenía que encajar en la narración de manera coherente. Y su visión fue, nada más y nada menos, que la Teoría General de la Relatividad o, entre otras cosas, la mejor manera de entender el mundo a escalas cosmológicas.

“Hay un mito por el cual Einstein aparece como un genio solitario, únicamente guiado por la belleza matemática y en pos de una gran teoría. El genio, la musa de la estética y la matemática como herramienta profética”, enumera Smolin y agrega: “Sin embargo, Einstein no tuvo una buena formación matemática y no estuvo solo sino que dependió de algunos amigos expertos”. Marcel Grossmann y Michele Besso lo condujeron en la formulación matemática precisa de sus ideas y en la correcta interpretación de los significados. “En lo que Einstein descolaba era en la intuición física y en la profundidad de su punto de vista, por ejemplo, sobre una simplicidad tan abrumadora como la equivalencia entre las masas inercial y gravitatoria”, sintetiza Smolin.

En contraposición y para poner en términos relativos aún más altos la epopeya de Einstein: ¿dónde residirían sus eventuales fallas? Según Smolin, nadando en las aguas de la denominada unificación de la mecánica cuántica y la gravedad: “Einstein no tuvo un nuevo principio físico que proponer, ni se



Hay fenómenos en el Universo que deforman el espacio-tiempo, tal como lo hacen los objetos muy masivos, pero de manera tal que crean ese tipo de ondas. Objetos masivos y muy acelerados, como la fusión de dos agujeros negros o el colapso de dos estrellas, cambian la curvatura del espacio-tiempo y producen ondas gravitacionales.

le ocurrió un genial experimento mental disparador de grandes ideas, tales como las de sus colosales logros previos de la Relatividad Especial, del efecto fotoeléctrico y del movimiento browniano”, y agrega: “Nublada ahora su coherencia narrativa, Einstein se apoyó en su propio mito de aquel presunto dominio artístico de la matemática –el mismo que le habría permitido parir la Relatividad General– para alcanzar una teoría del campo unificado”. Nunca el sustituir una poderosa mirada física por el virtuosismo en el manejo de la matemática sería una inversión rentable. De todas maneras, ambas caras del éxito lo afirman a Einstein en el podio del pensamiento humano.

La carrera por el campo

El 30 de septiembre de 2015, en el Seminario de Filosofía de la Ciencia coordinado por Mario Bunge en Exactas-UBA, Gustavo Esteban Romero, profesor de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata e Investigador Científico del CONICET en el Instituto Argentino de Radioastronomía, decía, a propósito del inminente centenario de la Teoría General de la Relatividad: “Einstein se dio cuenta de que era imposible diferenciar entre un campo gravitacional uniforme y un sistema uniformemente acelerado: gravitación e inercia parecían ser dos aspectos de un mismo fenómeno”. El niño que nació adentro de un ascensor sin ventanas ni posibilidad de comunicación con el exterior nunca podrá distinguir si el ascensor está quieto dentro de un campo gravitatorio o si por el contrario está siendo impulsado con aceleración constante en el espacio vacío, libre de gravedad. Por estos caminos, la aguda percepción de Einstein lo llevó a concluir, en palabras de Romero, “que la

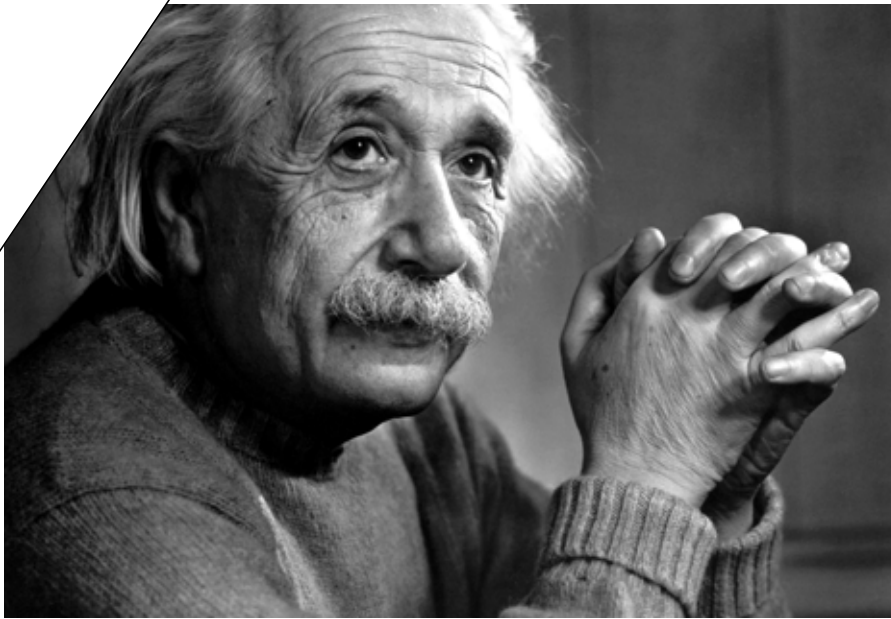
geometría en presencia de gravedad no puede ser la euclídea”, aquella de las primeras nociones escolares. “Un colega de Einstein en Praga, el matemático Georg Pick le sugirió a Einstein que, para hallar el campo gravito-inercial del principio de equivalencia, debía usar herramientas formales solo conocidas por matemáticos especializados de esa época”, relata Romero.

Einstein no duda y recurre a su amigo matemático Marcel Grossman, especialista en los temas claves y necesarios para alcanzar la meta imaginada por él. Romero explica: “Ambos amigos desarrollaron el aparato matemático necesario para tratar a la gravitación como un campo caracterizado por una decena de coeficientes diferentes que definen la forma de medir las distancias en el espacio-tiempo. La idea básica era que la geometría de ese espacio-tiempo no está fija, sino que depende de cómo se distribuyen la masa y la energía de los sistemas físicos. Así, el espacio y el tiempo cambian en presencia de objetos muy masivos, y al cambiar, la distancia más corta entre dos puntos deja de ser una línea recta y pasa a ser una

Para leer más

<http://factorellblog.com/2016/02/15/la-venganza-de-einstein-ondas-de-espacio-y-tiempo/>

<https://www.elgatoylacaja.com.ar/author/fernando-lombardo>



curva. Los cuerpos se mueven sobre esas curvas en el espacio-tiempo, y eso es lo que llamamos gravedad. La gravedad es reemplazada como fuerza, por la geometría del espacio-tiempo”.

“La Teoría General de la Relatividad elimina la dependencia de la mecánica clásica newtoniana respecto de un espacio y tiempo absolutos. La idea de que el espacio y el tiempo se van creando junto a los procesos físicos que ocurren en ellos, escenario y personaje a la vez, es una de las más bellas que ha producido la Física”, acota Esteban Calzetta, docente e investigador del Departamento de Física de Exactas.

Sin embargo, la crónica del parto de la Relatividad General no estuvo exenta de dramatismo. Romero lo detalló en Exactas: “En junio de 1915, David Hilbert, el más grande matemático del mundo, invita a Einstein a dar una serie de conferencias sobre su teoría de la gravitación. Einstein se sorprendió al constatar que todos allí conocían su teoría y, en las discusiones subsiguientes, sus dudas sobre las ecuaciones básicas aumentaron. En los meses siguientes, Hilbert se lanzó a encontrar ecuaciones generales para el campo gravitacional. Einstein, por su parte, pronto se dio cuenta de que las ecuaciones de la primera versión de su teoría aplicadas al movimiento orbital del planeta Mercurio no coincidían con las

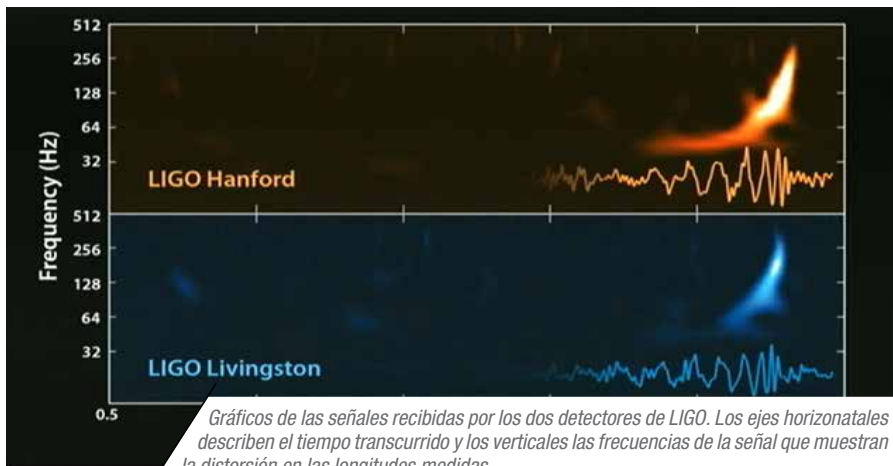
observaciones. No quedaba otra opción que rever sus propias ecuaciones. Einstein ahora sentía que Hilbert le pisaba los talones. En un esfuerzo extraordinario por reformular apropiadamente sus ecuaciones, Einstein prácticamente no salió de su estudio por todo el mes de noviembre de 1915. Luego reconocería que fue el mayor esfuerzo de su vida. Sólo se escribió con Hilbert. En una rápida sucesión de ideas, Einstein fue capaz de reformular sus ecuaciones, resolverlas bajo ciertas condiciones y obtener el valor correcto del movimiento del perihelio de la órbita de Mercurio”. El 25 de noviembre de 1915 Einstein comunicó a la comunidad científica las ecuaciones del campo gravitatorio. Hilbert arribó al mismo resultado once días después. Imaginar los vaivenes de los detalles técnicos de este duelo de gigantes es conmovedor para cualquier físico o matemático que se precie. Sin embargo, la magnitud de tanta genialidad ultra específica logró, de todas maneras, encontrar las vías históricas y sociológicas adecuadas para posicionar definitivamente a la figura de Einstein en la más alta consideración popular.

Cien años después: las ondas

Fernando Lombardo es docente, investigador y director del departamento de Física de Exactas. En una nota en el blog [elgatoylacaia](#), Lombardo retoma

la historia cien años después: “Las ecuaciones de campo de 1915 predecían que debía existir algo llamado ondas gravitacionales. Hay fenómenos en el Universo que deforman el espacio-tiempo, tal como lo hacen los objetos muy masivos, pero de manera tal que crean ese tipo de ondas. Objetos masivos y muy acelerados, como la fusión de dos agujeros negros o el colapso de dos estrellas, cambian la curvatura del espacio-tiempo y producen ondas gravitacionales. Incluso el Big Bang mismo debió haber generado ondas gravitacionales. La onda gravitacional se propaga en el espacio-tiempo y podemos pensarla como una ondulación concéntrica que encoge y estira la “tela” del espacio-tiempo mientras viaja a la velocidad de la luz. El espacio-tiempo no solo está deformado por lo que contiene, sino que la información sobre lo que pasa en un punto se propaga hasta los lugares más remotos con su correspondiente demora. En septiembre pasado, dos detectores absolutamente independientes identificaron las ondas gravitacionales producidas por el choque y fusión de dos agujeros negros ocurrido hace mil trescientos millones de años”.

A su vez, Romero detalla: “Uno de los agujeros negros tenía aproximadamente 36 veces la masa del Sol. El otro, unas 29 veces. Tras fundirse en un único agujero negro, el producto tuvo 62 masas solares, y no la suma de sus masas originales (65). Las 3 masas solares de diferencia escaparon en forma de ondas gravitacionales transportando la energía equivalente –de acuerdo a la fórmula de Einstein de equivalencia entre masa y energía o $E=mc^2$ – por todo el universo. Solo una cantidad extremadamente pequeña de esa energía llegó a la Tierra. La onda fue cambiando de frecuencia, a medida que los agujeros negros se acercaban, desde 35 MHz hasta 250 MHz. Un Hz es una pulsación por segundo, y un mega es un



Gráficos de las señales recibidas por los dos detectores de LIGO. Los ejes horizontales describen el tiempo transcurrido y los verticales las frecuencias de la señal que muestran la distorsión en las longitudes medidas.

millón de ellas. La coincidencia entre las señales detectadas y la predicción teórica es asombrosa: Einstein, cien años después, fue nuevamente vindicado”.

Lombardo concluye: “Si bien, ese ruido gravitacional recién nos llegó ahora

a nosotros, esta detección es importantísima porque nos da un nuevo sentido para observar el Universo. Hasta este momento solo lo veíamos a través de las ondas de radiación electromagnética. Ahora también oiremos el Universo a través de las ondas gravitacionales”.

¿Cómo funciona el observatorio de ondas gravitacionales?

LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) es un observatorio diseñado para medir ondas gravitacionales. El principio físico en el que se basa LIGO consiste en dividir un haz láser y mandarlo en dos direcciones. Ambos haces viajan exactamente la misma distancia a lo largo de unos tubos en los que se ha hecho vacío, son reflejados por espejos, vuelven sobre sí mismos y se combinan. Desde el punto de vista ondulatorio los haces de cada láser están exactamente en fase y el detector no muestra señal alguna. Pero, si una onda gravitacional los atravesara, distorsionaría mínimamente el espacio-tiempo cambiando así la distancia que cada haz láser tiene que recorrer. Esto haría que los haces mostraran un desfase relativo y aparece entonces una señal en el detector. Esta configuración experimental es altamente sensible a pequeñas perturbaciones, razón por la cual se construyeron dos LIGO idénticos en lados opuestos de los Estados Unidos. De esta forma, para que una medición sea considerada válida, ambos deben recibir la misma señal a la vez y medirla coherentemente.



Observatorio LIGO.

Gustavo Romero, experto entre otras muchas cosas en agujeros negros y en filosofía científica, sintetiza las implicancias físicas y filosóficas del descubrimiento anunciado el 11 de febrero de 2016: “Es la contrastación de la Teoría General de la Relatividad en condiciones más extremas, comparadas a anteriores contrastaciones. Prueba la existencia de las ondas gravitacionales. Prueba que la gravitación es un campo. Prueba que el espacio vacío puede contener energía del campo gravitacional en ausencia de materia. La prueba anterior demuestra que el espacio-tiempo tiene al menos cuatro dimensiones, ya que la gravitación no puede viajar por el vacío si sólo existieran tres. Prueba que la doctrina filosófica llamada presentismo es falsa. Prueba la existencia de sistemas binarios de agujeros negros u objetos extremadamente similares a ellos. Da nacimiento a una nueva rama de la astronomía, la astronomía de ondas gravitacionales, que se suma a la astronomía óptica, la de radio, la ultravioleta, la de rayos X, la de rayos gamma, y la astronomía de neutrinos. Muestra, una vez más, que la mente de Einstein fue una de las más lúcidas que el mundo ha conocido jamás”.

No habrá ninguno igual, no habrá ninguno

Ninguno con su percepción de la realidad física. Ninguno con su capacidad de ver profundas implicancias en presuntas trivialidades del mundo cuando nadie más puede verlas o las ve pero no tiene el coraje suficiente. Ninguno con las motivaciones filosóficas de, por ejemplo, un Anaximandro. Einstein, a cien años de la Teoría General de la Relatividad y a pocos meses de un experimento brillante que la vuelve a convalidar pero, esta vez, de una manera admirable, aún nos sigue mostrando que el método de las ciencias formalizadas por la matemática está en el costado reivindicable del género humano. ▀