

Recibido: 25.01.2018 | Aceptado: 23.04.2018

Palabras clave: Cosmología, Einstein, gravedad cuántica, relatividad general y tiempo.

¿Qué es esa cosa llamada tiempo?



JASEL BERRA MONTIEL
jasel.berra@uaslp.mx
FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP



El tiempo es uno de esos conceptos con el que todos estamos familiarizados, pero nadie sabe a ciencia cierta qué es. En el siglo V d. C., el teólogo Agustín de Tagaste, mejor conocido como Agustín de Hipona, abordó el concepto por primera vez en la historia como una relación entre los individuos y las cosas que sucedían a su alrededor, en el XI libro de las *Confesiones*, San Agustín escribió:

¿Qué es, pues, el tiempo? [...] si nada pasase no habría tiempo pasado; y si nada sucediese, no habría tiempo futuro; y si nada existiese, no habría tiempo presente. [...] Si, pues, el presente, para ser tiempo es necesario que pase a ser pretérito, ¿cómo decirnos que existe éste, cuya causa o razón de ser está en dejar de ser, de tal modo que no podemos decir con verdad que existe el tiempo sino en cuanto tiende a no ser? (San Agustín, 2010, p. 560).

A pesar de que esta definición pareciera ser poco intuitiva y un tanto descabellada, lo asombroso es que coincide actualmente con las descripciones más modernas sobre la naturaleza misma del espacio y del tiempo. Sin embargo, esto no siempre fue así; hasta la primera mitad del siglo XX los considerábamos entes absolutos, cosas que son iguales en todas partes. Bajo esta perspectiva, el espacio se comporta como un gran escenario vacío que encierra al universo, ahí los objetos se mueven a través de él, mientras que el tiempo corresponde a los ticks de un reloj universal. Esta visión particular se la debemos principalmente a Newton, puesto que nos permite explicar muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza, pero, a pesar de ser muy exitosa, no es del todo correcta, ya que nuestro universo no funciona así.

Para entender este hecho, supongamos que medimos la longitud de un autobús, luego volvemos a medirla cuando esté en movimiento. ¿Cuánto mide el autobús en cada caso?, probablemente diremos que miden lo mismo. Ahora, si observamos cuánto tarda un reloj en

marcar un segundo y luego nos desplazamos a una alta velocidad y nos hacemos la misma pregunta, con seguridad contestaríamos que por supuesto tarda un segundo. Sin embargo, esto no sucede así, por más extraño que parezca, la verdad es que cuando estamos en movimiento percibimos que el autobús es más corto, y que el reloj parece avanzar más despacio (figura 1). Este tipo de fenómenos forman parte de lo que hoy conocemos como relatividad especial, teoría formulada en 1905 por Albert Einstein, la cual consiste en que el espacio y tiempo dejan de ser magnitudes absolutas y pasan a ser entidades flexibles que cambian respecto al propio observador. De alguna manera, podemos decir que el espacio y el tiempo adquieren nuevas propiedades, ambos pueden estirarse y contraerse.

En la actualidad, existen muchos experimentos que confirman esta idea. Uno de ellos tiene que ver con el llamado decaimiento del muón. Para fines prácticos, podemos pensar al muón como un primo gordo del electrón, es decir, una partícula subatómica con la misma carga eléctrica pero con una masa 200 veces mayor. Los muones son generados debido a la interacción de los rayos cósmicos provenientes de distintas partes del



El espacio se comporta como un gran escenario vacío que encierra al universo, ahí los objetos se mueven a través de él, mientras que el tiempo corresponde a los tics de un reloj universal



universo con partículas en la atmósfera. Pero, a pesar de que se mueven a velocidades muy altas, no deberíamos observarlos en la superficie terrestre. La razón es que estas partículas tienen un tiempo de vida muy pequeño, es decir, en menos de una millonésima de segundo se desintegran para formar otras partículas, entonces ¿por qué las detectamos? La respuesta yace en la teoría de la relatividad especial, debido a la velocidad de los muones, su tiempo se ralentiza comparado al nuestro, lo cual permite que algunos de ellos alcancen el nivel del suelo. Un muón se mueve a aproximadamente 99 por ciento de la velocidad de la luz, desde el punto de vista de un observador situado en la Tierra, el tiempo de vida de los muones se incrementa debido al fenómeno de la dilatación del tiempo, esto implica que los muones pueden llegar a alcanzar la superficie antes de desintegrarse (figura 1). Puede que suene raro, pero como veremos a continuación, éstas ni siquiera son las propiedades más insólitas del espacio y del tiempo.

Relatividad especial vs relatividad general

Diez años después del nacimiento de la teoría de la relatividad especial, el mismo Einstein publicó una idea ex-

Fenómeno que forma parte de lo que hoy conocemos como relatividad especial, teoría formulada en 1905 por Albert Einstein.

Autobús estático

Autobús en movimiento

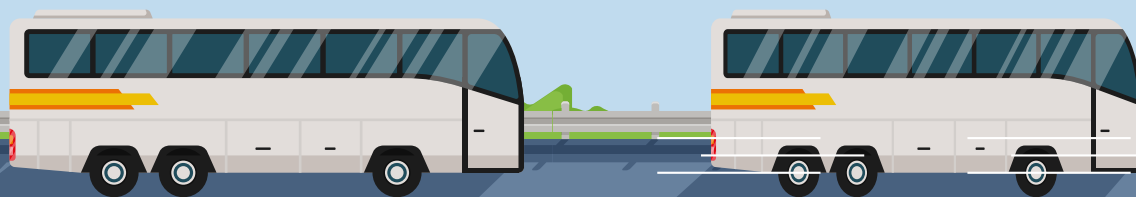


Figura 1.

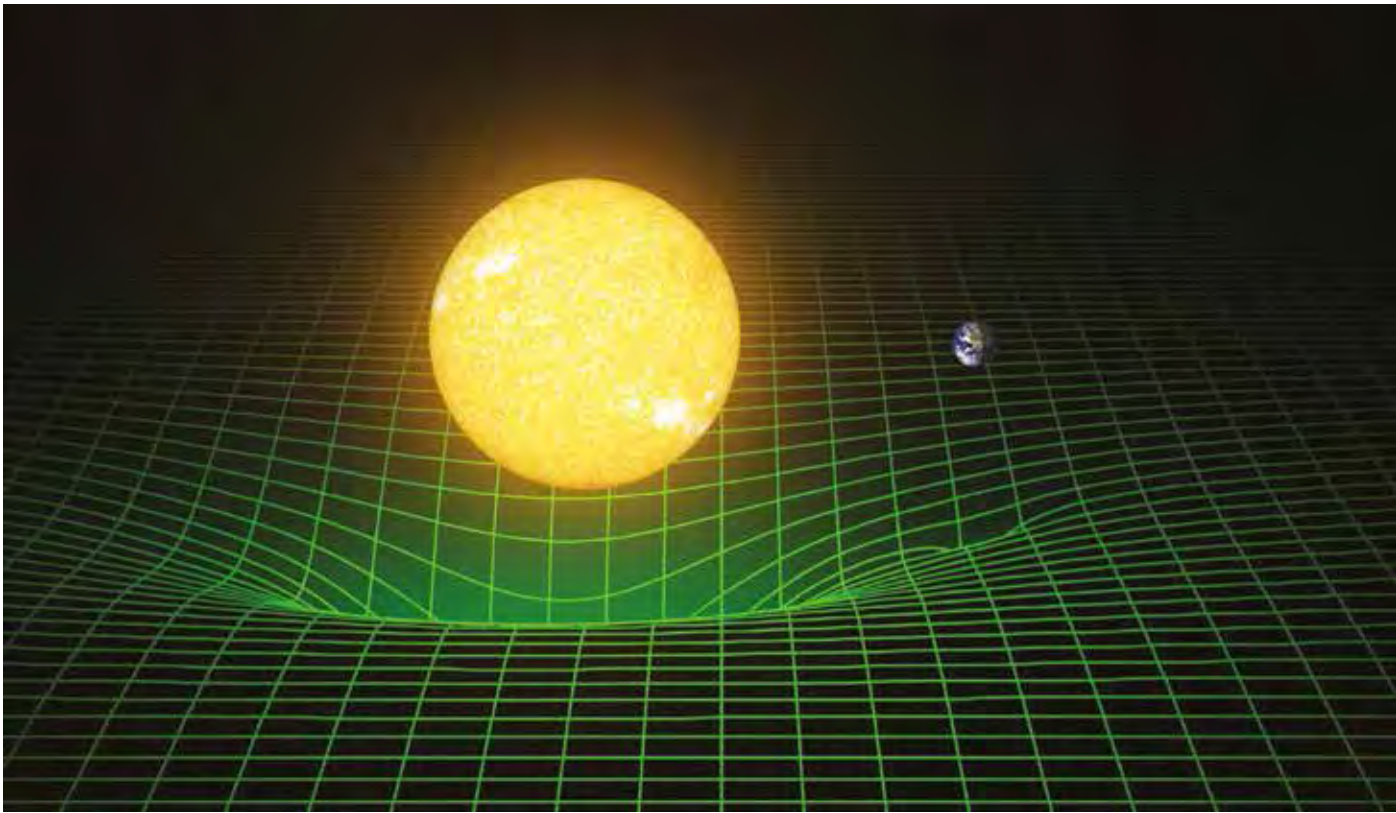


Figura 2.

traordinaria, algo que cambiaría nuestra percepción del universo para siempre: qué sucedería si el espacio y el tiempo no fueran simples escenarios donde la materia se mueve, sino que fueran entes reales, cosas que pueden vibrar, torcerse e incluso doblarse. Esto implicaría que no estamos contenidos en un armazón rígido e invisible, más bien, estamos inmersos en una gigantesca estructura flexible. De esta forma, el Sol dobla el espacio en torno a él y, por lo tanto, la Tierra no gira a su alrededor debido a una fuerza misteriosa, lo que sucede es que ésta cae hacia el Sol, tal y como una canica se mueve cuando desciende por un embudo (figura 2).

Entonces, lo que llamamos fuerza gravitacional no es más que una mera consecuencia de la curvatura del espacio. No obstante, no sólo éste puede

curvarse, el tiempo también lo hace. De acuerdo con Einstein, el tiempo medido por un reloj cerca de la superficie de la Tierra pasa a un ritmo más lento en comparación con un reloj colocado a una cierta altura. Podemos verlo así, si una persona que ha vivido a nivel del mar toda su vida conoce a su gemelo, quien ha vivido en las montañas, se dará cuenta de que es levemente más viejo. A esta nueva teoría de la gravitación la llamamos relatividad general (Rovelli, 2016).

Gracias a la teoría de la relatividad general hemos podido darle sentido a un montón de nuevos fenómenos que antes no podíamos explicar: la explosión de supernovas, estrellas de neutrones, lentes y ondas gravitacionales, la expansión del universo, entre muchos otros. No obstante, en la actua-

Figura 3.

Un agujero negro

Es un objeto estelar extremadamente masivo, de tal forma que la curvatura que genera en el espacio es tan grande que ni siquiera la luz puede escapar de él.

Crea un pozo tan profundo que los objetos entran a la velocidad de la luz.

Los objetos que se acercan son desviados por la distorsión del espacio.

Los objetos pueden entrar en órbita alrededor de él.

Los objetos pueden escapar si se mantienen a una distancia adecuada.

Los objetos que se acercan demasiado a él, se pierden sin remedio.

Una vez que atraviesan el horizonte de sucesos, los objetos caen en espiral por los bordes del pozo gravitacional.

Radio de Schwarzschild

Horizonte de sucesos, una vez que han franqueado ese límite, la luz no puede escapar de él.

Los pozos gravitacionales no tienen fondo. La materia y la luz que caen dentro no salen nunca.

lidad aún no sabemos en realidad de qué está hecho el espacio y el tiempo. Para averiguarlo necesitamos sumergirnos en uno de los lugares más extraños de nuestro universo, los agujeros negros (figura 3).

Un agujero negro es un objeto estelar extremadamente masivo, de tal forma que la curvatura que genera en el espacio es tan grande que ni siquiera la luz puede escapar de él. Si aplicamos la teoría de Einstein, identificaremos propiedades que comparten todos los agujeros negros, un ejemplo es que sólo necesitamos tres parámetros para describirlos: masa, carga eléctrica y su momento angular, que para fines prácticos podemos pensar como su velocidad de rotación. Desafortunadamente, no todo funciona a la perfección, en un agujero negro existe una región donde la materia se comprime hasta ocupar un volumen infinitesimal, es decir, la densidad resulta ser gigantesca. Es aquí donde la teoría de Einstein y nuestra visión del espacio y tiempo como una estructura flexible dejan de tener sentido, a este tipo de situación los físicos le llaman singularidad.

Debido a que una singularidad implica una región diminuta del espacio, lo más probable es que necesitemos hacer uso de una teoría física que describa la naturaleza a escalas microscópicas, esta teoría es la mecánica cuántica. Su idea principal es que la materia, la energía y todo lo que nos rodea están formadas por una estructura granular, bloques discretos o cuantos —en física, el término cuanto (del latín *quantum* que significa ‘cantidad’) denota el valor mínimo que puede tomar una determinada magnitud física, tal es el caso de la energía, el momento angular, la carga eléctrica, entre otras—,

herramientas esenciales para describir toda clase de sistemas, desde átomos y moléculas, hasta semiconductores y condensados, incluso la luz misma.

Gravedad cuántica

La idea para resolver el problema de la singularidad parece simple: combinar la teoría de la relatividad general con la mecánica cuántica. Sin embargo, esta tarea ha resultado ser increíblemente complicada, tanto que lleva aproximadamente 100 años sin encontrarse una solución satisfactoria. El problema radica en que ambas teorías parecen ser incompatibles, por un lado la teoría de Einstein describe al universo como una goma flexible y continua; por el otro, la mecánica cuántica nos dice que todo está compuesto por elementos discretos. Uno de los principales enfoques para resolver este rompecabezas se le conoce como gravedad cuántica de lazos. Esta propuesta combina la relatividad general y la mecánica cuántica, de tal manera que la teoría resultante conserve las fortalezas de ambas. El principal resultado de esta formulación radica en que el espacio adquiere un carácter discreto, es decir, es conformado por pequeños bloques llamados átomos de espacio, los cuales son miles de millones de veces más pequeños que el tamaño de un electrón. Esta teoría describe matemáticamente a estos átomos de espacio mediante el uso de lazos o anillos, que se unen unos con otros para formar un entretejido, que da lugar al espacio tal y como lo conocemos.

Pero eso no es todo, otra de las consecuencias de tener un espacio discretizado es que el concepto de tiempo desaparece. El universo y su evolución es descrito completamente mediante



JASEL BERRA MONTIEL

Es doctor en Matemáticas por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Profesor investigador en la Facultad de Ciencias en donde trabaja con el proyecto de Ciencia Básica SEP-CONACYT 283838 "Gravedad cuántica de lazos en el formalismo de cuantización por deformación".



la interrelación entre los átomos de espacio y los cuantos de materia. Tanto la forma continua del espacio, como la noción del tiempo resultan ser una mera ilusión, de la misma manera en que un lago es el resultado de la interacción entre millones de moléculas de agua.

Pero, ¿es posible comprobar estas afirmaciones experimentalmente? La verdad es que actualmente no existen evidencias que soporten estas conclusiones. Sin embargo, es probable que podamos usar a los agujeros negros como laboratorios, ya que son el resultado del colapso gravitacional de una estrella; de acuerdo con la gravedad cuántica de lazos, la materia no podría concentrarse en una pequeña región infinitesimal, pues la existencia de átomos de espacio no lo permitiría.

Esto implica que un agujero negro se comportaría como una estrella que al colapsar, explotaría casi de manera inmediata, evitando así la formación de una singularidad. Aunque para el agujero negro este evento sería casi instantáneo, para un observador que esté lejos, el proceso tardaría miles de millones de años. La razón de esta diferencia de tiempos se debe, en gran medida, a la masa del agujero negro, pues la enorme curvatura que genera en el espacio y el tiempo, causa una dilatación temporal gigantesca (Rovelli y Vidotto, 2014).

Es posible que en un futuro cercano podamos medir diferentes señales emitidas a causa de explosiones de agujeros negros formados en los inicios de nuestro universo, esto nos permitiría observar, de manera indirecta y por primera vez, algunos efectos cuánticos sobre el espacio y el tiempo.

Aportación de la UASLP

Actualmente la Universidad Autónoma de San Luis Potosí cuenta con un grupo muy activo de investigación enfocado al área de gravedad cuántica y temas afines. En el Cuerpo Académico de Matemática Aplicada y Física Teórica, adscrito a la Facultad de Ciencias, estamos interesados en estudiar aspectos físicos y matemáticos de la representación de lazos. En términos generales, esto nos podría ayudar a entender diversos fenómenos que ocurren en cosmología, como la radiación de Hawking en un agujero negro, ondas gravitacionales, así como el Big Bang y las etapas tempranas de nuestro universo.

Sin embargo, a pesar de los múltiples avances que se han hecho en física teórica, existen aún muchos problemas sin resolver tales como la materia, la energía oscura y la masa de los neutrinos, por mencionar sólo algunos. Lo interesante es que posiblemente conozcamos las respuestas a algunas de estas interrogantes en los próximos años, por lo que no existe mejor momento para estudiar física o matemáticas, ya que al igual que a principios del siglo XX, nos encontramos al borde de una revolución en nuestro entendimiento sobre aspectos fundamentales de la naturaleza. **UP**

Referencias bibliográficas:

- San Agustín (2010). *Confesiones*. Madrid: Editorial Gredos.
- Rovelli, C. (2016). *Seven Brief Lessons on Physics*. Penguin Audio.
- Rovelli, C. y Vidotto, F. (2014). Planck Stars. *International Journal Modern Physics*, 23(12).
- Ashtekar A. y Pullin J. (2017). *Loop Quantum Gravity: The First 30 years*. Singapur: World Scientific Publishing.