

## Einstein e *Interstellar*

<https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/87/posts/einstein-e-em-interstellar-em-13705>

La Teoría de la Relatividad General de **Albert Einstein** presentada en 1915 cambió nuestra concepción del espacio y el tiempo, enseñándonos que estas dos magnitudes forman parte de un entramado complejo gobernado por la gravedad a través de la materia y dando lugar a grandes historias de ciencia ficción.

**Albert Einstein** ha sido uno de los científicos más influyentes de la historia, por no decir el que más. Sus contribuciones a la Física son diversas y de gran relevancia, desde la Teoría de la Relatividad Espacial —donde rompió con la idea del tiempo como algo inmutable—, hasta su obra maestra: la Teoría de la Relatividad General —a través de la cual se ha hecho añicos el universo Newtoniano, inmenso y eterno—, pasando por sus contribuciones pioneras en la mecánica cuántica o su explicación del efecto Browniano. En esta entrada intentaremos repasar la grandeza de su obra a través de *Interstellar*, una de las películas de ciencia ficción más rigurosas que se han hecho últimamente.

### Agujeros negros

Los agujeros negros son el ejemplo más paradigmático de los resultados de la Relatividad General y Gargantúa, el agujero negro alrededor del cual orbitan los tres planetas posiblemente habitables de la película, es el elemento central de *Interstellar*. Cuando una **estrella supermasiva** deja de generar energía de manera estable, llega cierto momento en el que la fuerza de la gravedad es superior a la fuerza ejercida por la explosión termonuclear que se da en el centro de la estrella y, en algunos casos, ésta **colapsa concentrando toda su materia en una región extremadamente pequeña y de densidad infinita** (idealmente).

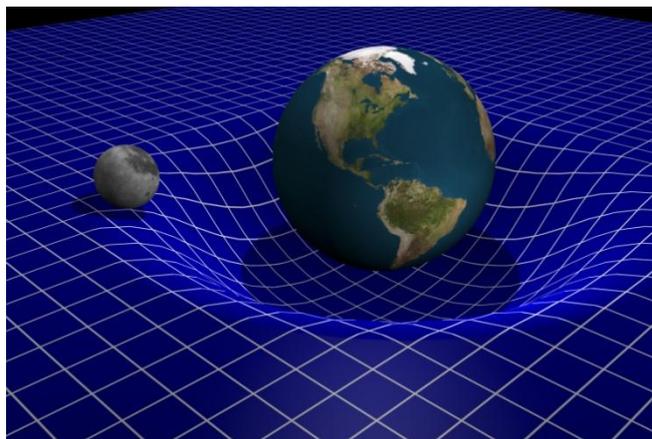
### El concepto de gravedad en la Relatividad General

Antes de explicar el comportamiento físico de un **agujero negro**, creo que es conveniente aclarar cómo queda explicada la gravedad en el marco de la Relatividad General. Para Einstein, **la gravedad no es una fuerza como tal sino que es una manifestación de la masa de un objeto**. La mejor manera de entenderlo de una manera visual es considerando el caso bidimensional, en el cual el espacio está formado por una sábana. Si colocamos una bola de petanca en el centro de la sábana, veremos que el espacio queda deformado por la presencia de la bola. Ahora, si lanzamos una canica y pasa cerca de la bola de petanca, lo que veremos es que la trayectoria de la canica queda desviada por la deformación del espacio generada por la bola, de tal manera que tres escenarios son posibles: 1) la canica es engullida por la bola; 2) la canica entra en órbita (más o menos estable) alrededor de la bola; y 3) la canica curva ligeramente su trayectoria y sigue su camino. Esta rudimentaria (y no completamente fidedigna) visualización de la gravedad a través de la deformación de la sábana sirve para entender también cómo puede ser que la luz se curve al pasar cerca de un objeto masivo. Si antes de poner la bola dibujáramos una cuadrícula en la sábana, veríamos que dicha cuadrícula queda deformada por la bola.

Como consecuencia, cuando **la luz** viaja en línea recta siguiendo las cuadrículas, lo que vemos es que en realidad **su trayectoria se curva**, ya que la cuadrícula ha quedado deformada por la masa de la bola.

### Espacio multidimensional

Nótese que en este ejemplo ilustrativo estamos teniendo en cuenta una gravedad



Newtoniana para deformar la sábana a través del peso de la bola. Sin embargo, la Relatividad General predice que el espacio tridimensional en el que creemos vivir se deforma de manera análoga por la presencia de objetos masivos. Y digo en el que creemos vivir, por el siguiente motivo: podemos percibir que la bola deforma la sábana, porque somos capaces de percibir el cambio de un objeto bidimensional a uno tridimensional. La bola cambiará la forma de la sábana, la hundirá parcialmente formando una especie de pozo que necesariamente se manifestará en la tercera dimensión, es decir, fuera del plano formado por la sábana. Pero nuestro universo es tridimensional, o al menos tal y como lo percibimos en nuestro día a día, de manera que **la deformación espacial de un planeta o una estrella tiene que ser hacia una cuarta dimensión que no somos capaces de percibir**, pero existe. Por tanto, bajo el marco de la Relatividad General vivimos en un mundo cuatridimensional, como mínimo. A todo esto, no debemos olvidar la conexión entre espacio y tiempo en las teorías de **Einstein**, en las cuales el tiempo es tratado casi como una dimensión más. Como consecuencia de ello, **la curvatura espacial generada por la presencia de objetos masivos también afecta al tiempo**.

Todas estas ideas quedan plasmadas en los fenómenos ocurridos en Gargantúa. Por un lado, un agujero negro retuerce el espacio de tal manera que ni la luz consigue escapar de él cuando pasa demasiado cerca. La acción de estos objetos es tal que sólo podemos describir la dinámica de cuerpos que estén como muy cerca en el radio de Schwarzschild, el famoso horizonte de sucesos del agujero negro, que delimita la zona "segura" de la zona "sin retorno", en la que no podríamos escapar. Los tres planetas posiblemente habitables de *Interstellar* se hallan a una distancia superior del radio de Schwarzschild, pero no lo suficiente como para que los efectos de dilatación temporal inducidos por el agujero negro sean despreciables. De esta manera, los protagonistas se encuentran ante el gran dilema de qué planeta visitar primero, puesto que en alguno de los casos la dilatación temporal es tal que una hora en la superficie de uno de los planetas equivaldrá a varios años en la Tierra. Esta dilatación temporal es tal que cuando Coop y Amelia vuelven de la superficie del planeta hasta la Endurance (su nave intergaláctica), su compañero de exploración (Romilly) tiene 24 años más que cuando lo dejaron. En cierta manera, Coop y Amelia han viajado al futuro, aunque sólo al futuro de Romilly. De hecho, cuando Coop se reencuentra

con su hija pequeña Murph se encuentra con que ella es una anciana en los últimos días de su vida, mientras que para él no han pasado mucho más que dos años. Por tanto, cuando hablamos de **viajes en el tiempo** motivados por la Relatividad General **sólo** podemos hacerlo en este contexto, en el de viajes **al futuro debido a diferentes contracciones temporales entre diferentes sistemas de referencia**. Es más, esta dilatación temporal ha sido demostrada y medida en los relojes de los satélites GPS, que necesitan tener en cuenta correcciones relativistas para poder dar con tanta precisión la posición de nuestro coche sobre la superficie terrestre.

### **Agujeros de gusano**

El elemento clave en *Interstellar* para que la humanidad pueda hacer viajes intergalácticos y se salve de su horrible final es un **agujero de gusano** que se ha descubierto cerca de Saturno. Los agujeros de gusano o puentes de Einstein–Rosen aparecen dentro de las posibles soluciones de la Relatividad General como unos elementos topológicos extraños **que permiten conectar dos puntos determinados del espacio-tiempo**. Para entender su funcionamiento, podemos volver al ejemplo de nuestro espacio bidimensional formado por la sábana. Imaginemos que doblamos la sábana por la mitad (haciendo uso de la tercera dimensión), de tal manera que puntos del espacio que antes estaban separados por una cierta distancia ahora pasan a estar prácticamente en contacto. Si ahora cambiamos ligeramente la topología de la sábana (es decir, si cambiamos la estructura espacial de la sábana) **creando un túnel que conecte esos dos puntos**, habremos creado un atajo para viajar entre puntos distantes del espacio. Ese túnel es lo que conocemos como **agujero de gusano**. En la película, el agujero de gusano (que es representado de manera acertada como una esfera) lleva a los protagonistas hasta otra galaxia, separada años-luz de la Tierra en cuestión de segundos, aunque el viaje hasta Saturno dura cerca de 2 años. Y este elemento particular que aparece en las soluciones de la Relatividad General no sólo ha sido hallado para el caso gravitatorio, sino que recientemente investigadores de la Universidad Autónoma de Barcelona han sido capaces de demostrar experimentalmente el análogo de un agujero de gusano para un campo magnético, por citar un ejemplo.

### **La teoría del todo**

Cerca del centro de un **agujero negro**, dentro del radio de **Schwarzschild**, a día de hoy **no somos capaces de predecir el comportamiento físico del entramado espacio-tiempo**, ya que en esa región las dimensiones son tan pequeñas y las densidades de energía son tan grandes que **necesitamos una teoría cuántica de la gravedad para entenderlo**. En la película son capaces de obtener datos cuánticos del centro de un agujero negro y transmitirlos a la Tierra a través de una representación espacial del tiempo creada supuestamente por seres humanos del futuro y con ello poder unir la Relatividad General

con la mecánica cuántica. Esta **teoría del todo**, capaz de unir la dinámica de los cuerpos a escalas planetarias con el mundo cuántico fue **la piedra en los zapatos para Einstein**, el único gran problema físico al que intentó dar respuesta sin éxito y que lo mantuvo ocupado hasta sus últimos días. Quizá sea una cuestión de tiempo de obtener la teoría de la Unificación o quizá el **Teorema de Incompletitud de Gödel** sea correcto y no seamos capaces de tener una teoría del todo completa, de lo que sí estamos seguros es que tras 100 años, la Teoría de la Relatividad General sigue siendo la teoría más precisa jamás creada, junto con la mecánica cuántica, y que es muy probable que los grandes descubrimientos que aún estemos por hacer en los años/décadas/siglos que vienen no hagan más que reforzarla y que nos muestren posibilidades que hoy en día sólo podemos encontrar en las películas de ciencia-ficción. Gracias por todo Albert.

#### **Comentario de Juan Carlos Sierra - 04/11/2015**

*Interstellar es una excelente película, no solamente por el entramado físico que soporta coherentemente la historia, es una muy buena ilustración de los fenómenos astrofísicos que por ahora únicamente podemos imaginar.*