

Los viajes en el espaciotiempo por los *agujeros de gusano*

# Travesía *exótica*

por Guillermo Mattei\*  
gmattei@df.uba.ar

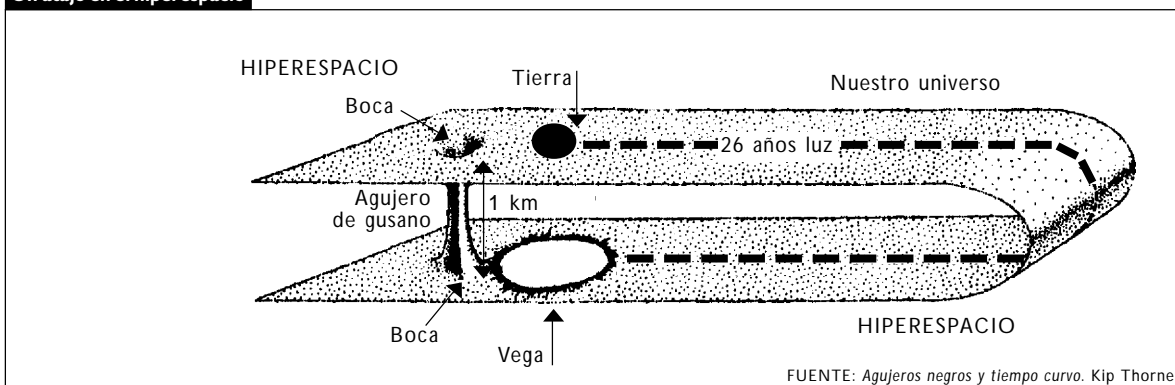
*Un autor de ciencia ficción preocupado por el rigor conceptual de su novela. Un astrofísico preocupado por los interrogantes científicos que plantea la novela. Resultado: una novela científicamente rigurosa y una inesperada motivación para la creación de conocimiento físico. ¿Pueden conectarse dos puntos diferentes del universo por exóticos túneles que los físicos llaman agujeros de gusano?*

Verano de 1985. Instituto Tecnológico de California. Suena el teléfono en el despacho de uno de los astrofísicos más destacados del último cuarto del siglo XX. “Hola Kip, habla Carl. Disculpá la molestia pero estoy a punto de terminar una novela sobre el primer contacto de la raza humana con una civilización extraterrestre y estoy preocupado. Quiero que la parte científica sea lo más exacta posible y no quisiera cometer algún error en la física de la gravedad. ¿Querías darle una mirada y aconsejarme?”.

Así fue como el recordado Carl Sagan logró un singular respaldo, al más alto nivel científico, de varios capítulos de su novela *Contacto*—más tarde protagonizada en el cine por la enigmática Jody Foster— según relata Kip Thorne en su libro *Agujeros negros y tiempo curvo*. Pero eso no es todo, la llamada de Sagan disparó en la astrofísica teórica, casi sin querer y a instancias de Thorne, un resurgimiento de los de estudios acerca de la posible manera de conectar dos puntos distantes del universo. ¿Cuál es esa manera? Zambullirse en un *agujero de gusano*.



**Un atajo en el hiperespacio**



**El atajo**

En la novela, la nave de la comandante Ellie Arroway viaja a un planeta de la estrella Vega, que dista de la Tierra unos veintiséis años luz, a través de un atajo de pocos kilómetros de longitud en el hiperespacio cuadridimensional, denominado agujero de gusano.

El singular túnel interconector tenía una boca en la Tierra y otra en Vega, tal como Thorne lo esquematiza en la figura (arriba). Sin embargo, en nuestro mundo cotidiano y tridimensional, la entrada no sería un agujero circular sino una gran esfera. Algo así como llegar al Centro Cívico de Bariloche y encontrar que una gran bola brillante reemplaza al monumento a Roca de modo tal que los turistas, introduciendo sus cabezas dentro de la esfera, puedan ver —en el fondo del túnel— un recorte del paisaje de algún lejanísimo planeta extrasolar. Una gigantesca y exótica fibra óptica.

**Caer tiene sus privilegios**

Antes de pensar en el turismo aventurero por el agujero de gusano, ¿cuál es el contexto conceptual que legitima tan alocada posibilidad? Las leyes de la gravitación en el universo.

En la descripción newtoniana de los fenómenos físicos no hay motivo para afirmar que la masa inercial de un cuerpo (o sea, la propiedad que lo hace más o menos difícil de mover) sea la misma que la masa gravitatoria (o sea, la propiedad que lo hace caer). Sin embargo los experimentos se

empecinan en mostrar que ambos conceptos de masa son el mismo. Einstein interpretó genialmente esta equivalencia comparando así las colosales ideas de la Teoría de la Relatividad General. Una de las consecuencias de este llamado Principio de Equivalencia indica que nunca podremos distinguir, con los ojos vendados, si estamos en un ascensor que cae libremente o

en una nave espacial que se desplaza a velocidad constante muy lejos de influencia gravitatoria alguna. Caer elimina los efectos inmediatos de la gravedad mirando la vida desde el sistema en caída libre. En otras palabras, comprobar que la gravedad desaparece cuando caemos es interesante, al menos hasta un centímetro antes del piso.

**Cuando sale la Luna**

La Luna deforma el nivel de la masa líquida de la Tierra en virtud de la influencia gravitatoria que ejerce. La superficie oceánica en lugar de ser una esfera, como lo es nuestro planeta, tiene forma de pelota de rugby con sus picos alineados en la dirección Tierra-Luna. Por un lado, el campo gravitatorio de la Luna sobre la Tierra depende de la distancia y, así, es más intenso en la cara más cercana que en la posterior. Por otro lado, las direcciones en las que se aceleran los diferentes puntos de la masa oceánica no son coincidentes debido a que, para la Luna, el tamaño de nuestro planeta es *grande*. Ambos efectos combinados dan lugar a la forma de pelota de rugby —que, considerando la rotación terrestre, determina las dos mareas diarias— y sintéticamente se los denominan efecto de mareas. A su vez, *quitando* la Luna, la forma de la masa oceánica sería esférica y, sobre ella, es la Tierra la que ejerce un tirón gravitatorio uniforme hacia adentro.

El efecto de mareas y el tirón interno son dos claves del mecanismo de la gravedad en la Teoría de la Relatividad General.

Sin embargo, las conclusiones anteriores solo tienen validez cuando tomamos medidas en forma local —matemáticamente hablando— o en regiones pequeñas comparadas con las dimensiones del cuerpo atractor, en palabras menos técnicas. Contrariamente, cuando los cuerpos que caen son de tamaño comparable al del cuerpo atractor, la influencia gravitatoria no luce pareja ni uniforme y ya no hay manera de neutralizar sus efectos eligiendo algún punto de vista privilegiado. Estas características de la gravedad —bien conocidas por la masa oceánica terrestre (ver recuadro *Cuando sale la luna*)— llevan a otro de los íconos de la Teoría de la Relatividad General: el espacio tiempo, en presencia de masas gravitatorias, es curvo.

Combinar las ideas —galileana— de la omisión del concepto de fuerza en la caída libre y la —relativista— de espaciotiempo curvo (ver recuadro *Dibujando...*) es lo que delinea la impronta de la gravedad en la Teoría de la Relatividad General. Historiadores y biógrafos sostienen que Einstein jugó con estas ideas geniales valiéndose de verdaderas imágenes mentales y que sus amigos matemáticos las plasmaron en el

lenguaje universal de las ecuaciones. En la Teoría de la Relatividad General, las llamadas ecuaciones de campo son las herramientas matemáticas básicas que describen la influencia de la materia y la energía sobre las propiedades geométricas del espaciotiempo (ver Recuadro *El drama...*).

Una solución famosa de las ecuaciones de campo son los agujeros negros. Una solución menos popularizada de las ecuaciones de campo son los agujeros de gusano.

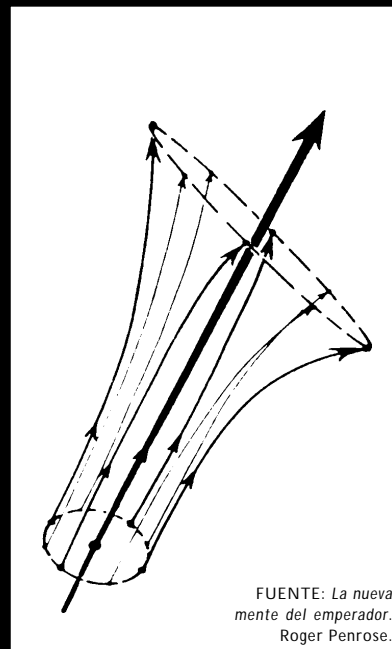
**Sonríe, los agujeros de gusano existen**

Los agujeros de gusano fueron descubiertos en 1916, su estudio fue profundizado a mediados de los cincuenta y retomado con gran impulso por Thorne en 1985 a partir de la histórica llamada de Sagan.

Los primeros cálculos demostraban que esta clase de túneles eran tan efímeros e inestables que, en la práctica, nada los podría atravesar debido a que se estrangularían inevitablemente ante la menor perturbación. Ni que decir del paso de una nave espacial. Sin embargo, Thorne, empecinado por aportar argumentos plausibles a la novela de Sagan, analizó el problema desde tres nuevos ángulos.

Inicialmente Thorne especuló que era imprescindible encontrar una forma en la cual el interior del túnel contuviera un material capaz de mantenerlo abierto por aplicación de algún tipo de tensión hacia afuera. Thorne bautizó a este material, desconocido aún por el hombre, con la provisoria denominación de materia exótica. La segunda consideración llevaba a

**Dibujando lo Inimaginable**



Los físicos y matemáticos recurren usualmente, en la Teoría de la Relatividad General, a representaciones de los fenómenos en diagramas que contemplan simultáneamente al espacio y al tiempo en los cuales las evoluciones de los objetos bajo estudio son curvas llamadas líneas de universo.

La figura (arriba) muestra las líneas de universo de la caída de la masa de agua terrestre hacia la Luna (Ver Recuadro *Cuando sale la luna*): una línea recta y varias que se curvan, la primera describe el movimiento del centro terrestre y el resto los efectos de marea. El comportamiento de algunas de estas líneas, teniendo en cuenta que se trata del movimiento más natural posible (caer), se asemeja al comportamiento de los meridianos terrestres que nacen en puntos separados sobre el Ecuador pero finalmente se juntan en los polos. Los meridianos y el Ecuador son las geodésicas de la esfera. Las geodésicas son los caminos más cortos que se pueden recorrer sobre una superficie curvada, sea la de la esfera o cualquier otra. Esto lo saben los aviadores. Así como los meridianos siguen la curvatura terrestre, las líneas de universo de la caída libre también parecen responder a una curvatura: la del espacio-tiempo.



concluir que la materia exótica actuaría como una lente divergente para los haces de luz que atravesaran el túnel. Finalmente, para que las dos condiciones anteriores fueran coherentes con las leyes físicas conocidas, la materia exótica debería tener una densidad de energía (cantidad de energía por unidad de volumen o, según la relación  $E=mc^2$ , cantidad de masa por unidad de volumen) con valores negativos medidos por un observador “aferrado” al haz de luz. Si bien las leyes de la física no censuran la existencia de materia exótica hasta ahora ningún experimento se ha topado con tal clase de material, por un lado, y es la principal candidata a la enigmática *materia oscura* que puebla el setenta por ciento del universo, por otro.

De todas maneras, otra autoridad de la astrofísica de fines del siglo XX, Stephen Hawking, había demostrado que, cerca del horizonte de ciertos agujeros negros, “las fluctuaciones del vacío son exóticas”. En palabras menos técnicas, los físicos saben que existen condiciones en las cuales pequeñas regiones admitirían valores negativos de la densidad de energía por breves períodos de tiempo.

En el contexto de la novela *Contacto*, Thorne había dado una parte de la respuesta a Sagan en acuerdo con el conocimiento científico disponible hasta ese momento: los viajes interestelares a través de agujeros de gusano demandan materia exótica para mantener abierto el túnel. La segunda parte de la respuesta no pudo resolverse completamente: la física desconoce si una civilización infinitamente avanzada puede construir agujeros de

### El drama de las ecuaciones de campo

En la magnífica trama de la Relatividad General, los actores principales son objetos de la matemática técnicamente denominados *tensores*, la mayoría de los cuales además portan el apellido de grandes figuras históricas de esa disciplina: el tensor de curvatura de Riemann (**Rm**) —Bernhard Riemann, matemático alemán—, el tensor *de Ricci* (**Ri**) —Gregorio Ricci, geómetra italiano— o tensor de Weyl (**W**) —Hermann Weyl, matemático alemán—. También hay tensores menos aristocráticos pero de grandísima importancia en la teoría: el tensor *energía-momento* (**T**) o el tensor métrico (**g**). Finalmente, entre tensores definidos por doscientas cincuenta y seis cantidades, como en el caso del **Rm**, o dieciséis como en el resto, aparece una modesta y única cantidad denominada el escalar de Ricci (**R**).

¿Los libretos? **g** regula cuestiones geométricas esenciales tales como la medida de la distancia entre dos puntos del espaciotiempo, **Rm** carga con toda la infor-

mación de la curvatura de la región bajo estudio, **Ri** surge de algo así como una fusión entre **Rm** y **g** y describe los cambios de volúmenes a causa de la masa gravitatoria, **T** lleva toda la información necesaria sobre la energía, la presión, el movimiento y los campos electromagnéticos, **W** aporta una medida de la distorsión de marea y **R**, resultado de fusionar **Ri** y **g**, es una única medida de la curvatura.

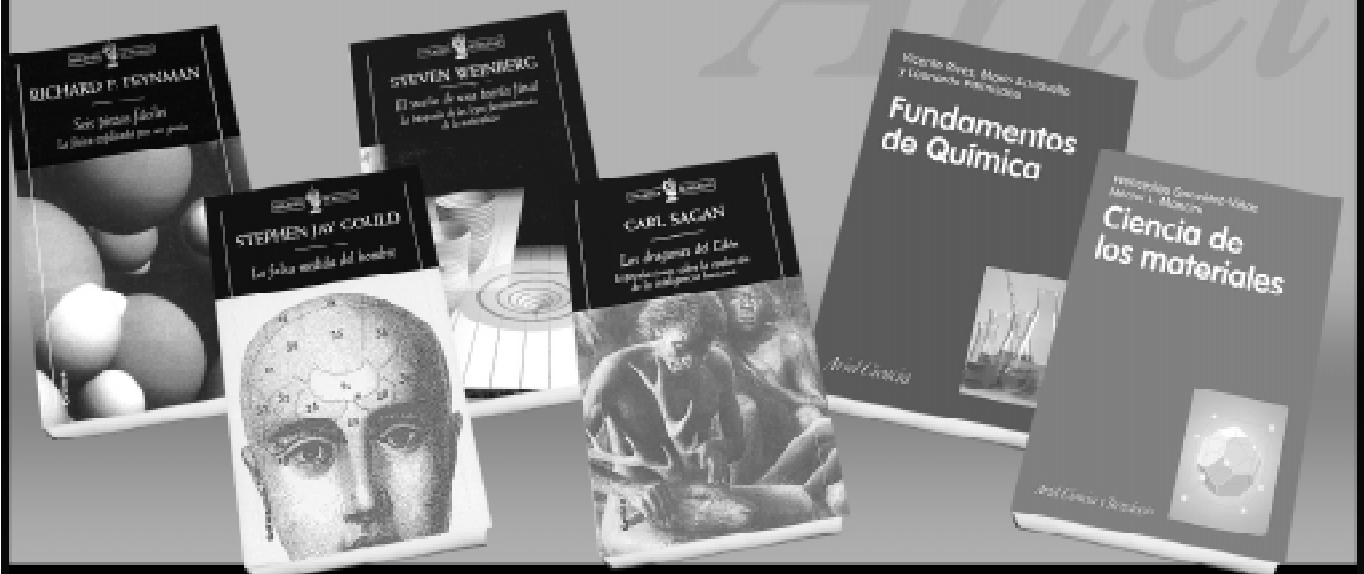
Con sus roles bien definidos, los actores de la Relatividad General forman la siguiente escena: " $Ri - (1/2)gR = T$ ". Si bien la expresión " $F=ma$ " es un difundido ícono de las leyes de Newton y es fácil encontrar " $E=mc^2$ " en muchas remeras y pósters, las ecuaciones de campo de la Relatividad General no son tan fáciles de popularizar aún. Una pincelada de su significado muestra a la geometría y la dinámica, de un lado de la ecuación, y la distribución de la masa y la energía, del otro. La gravitación y sus consecuencias relacionadas con las propias fuentes de los campos.

gusano en lugares donde previamente no hubo uno de origen natural. Sagan eludió este detalle en la novela recurriendo al artificio argumental por el cual una civilización ancestral legaba a los humanos el método de construcción del agujero de gusano de una manera críptica e indescifrable. Una cuota de ficción ineludible.

Thorne concluye que "las aún pendientes leyes de la gravedad cuántica nos ocultan parcialmente la respuesta acerca de si, en situación ideal, es factible que los hombres puedan construir agujeros de gusano". La lucecita en el túnel que mantiene optimistas a los científicos es pensar que, hace no demasiadas décadas, también los agujeros negros parecían reservados a la ciencia ficción. *Contacto* tuvo un final, pero la historia de los agujeros de gusano continuará. ■

\* Asistente de la Coordinación de los Laboratorios Básicos de Enseñanza del Departamento de Física, FCEyN.

# Los mejores libros de divulgación científica y estudio al alcance de todos



**Crítica**

*Ariel*