

# Ficción científica y relatividad general<sup>1</sup>

**Bogdan Mielnik**

## El difícil estatus de la ficción

Existe una relación confusa entre la ciencia y la ficción. Esta última con frecuencia es víctima de críticas y reproches. Algunos dicen que la ficción va demasiado lejos y que por esto pierde relación con la realidad. Otros sostienen que la realidad siempre es más rica que la ficción, lo que implicaría lo contrario: ¡la ficción nunca llega bastante lejos! Aunque mutuamente contradictorias, estas opiniones son siempre negativas.

Mi propósito es mostrar que la relación entre la ficción y la ciencia es mucho más fértil de lo que generalmente se cree. De hecho, no pocas veces, la ficción científica adelanta a la ciencia. Hay un ejemplo que debería ser famoso.

## El nacimiento ilegal de la teoría de la relatividad

Todos conocen las ideas de la relatividad especial, con su noción del *espacio-tiempo*. Uno de los mayores logros conceptuales de esta teoría fue la aserción de que existimos entre *eventos* y no entre *puntos*. Los eventos forman una variedad tetra-dimensional (espacio-tiempo), en la que cada objeto tiene una extensión temporal. Así, lo que para la física de Newton era un objeto material pequeño, para la teoría de la relatividad es una especie de *gusano largo* que atraviesa el espacio-tiempo desde el pasado hacia el futuro. Asimismo, lo que para la mecánica clásica fue un punto material, para la mecánica relativista es una línea en el espacio-tiempo (*línea de mundo*).

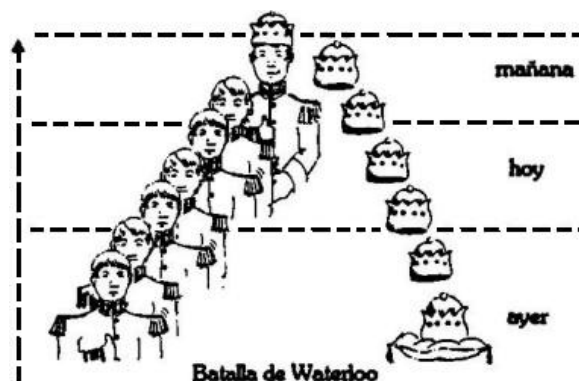


Figura1. El espacio-tiempo como una variedad 4-dimensional con la *línea de mundo* de un personaje histórico y de su corona. Arriba, el momento de la coronación.

<sup>1</sup> El texto corresponde a las pláticas invitadas en el Departamento de Matemáticas, Texas, Dallas (1978), y en el Simposio de Educación Matemática, México, Pátzcuaro (1987); también en el Departamento de Física de la UAM-I y en la XXXIV Reunión de Planetarios, IPN (2006). La primera versión publicada en *Avance y Perspectiva* 35 (1988), pp 34-40, fue reimpressa en "Temas selectos de Astrofísica, Cosmología y Partículas Elementales", Ed. J. Clapp, ETCSA (1994), pp 87-102, y revisada para el LV Aniversario de la ESIQIE-IPN (2004). Actualizado en ocasión del XXXXV Aniversario de la ESFM-IPN.

Todos acostumbramos dar el crédito por ello a Albert Einstein, debido a su trabajo histórico de 1905 [1]; pero permítanme citar unos fragmentos de la novela de H. G. Wells: *The Time Machine* [2]. La siguiente discusión se desarrolla entre el inventor del *vehículo del tiempo* y el grupo de sus amigos, al planear una excursión al futuro. Dice el inventor:

—“*Por supuesto, ustedes saben que la línea matemática, línea sin ancho, no tiene existencia real. Tampoco la tiene un plano matemático. Estas cosas son sólo abstracciones (...) Así como tampoco un cubo, que sólo tenga longitud, altitud y anchura, posee una existencia real.*”

—“*Aquí protesto,*” dijo Filby. “*Obviamente un cuerpo sólido puede existir.*” (...)

—“*Pero espera un momento, ¿puede existir un cubo instantáneo?*”

—“*No te entiendo,*” dijo Filby.

—“*¿Existe en realidad un cubo que no dure ningún tiempo?*” (...) “*Por supuesto,*” continuó el inventor, “*cualquier cuerpo real debe de extenderse en cuatro direcciones: tiene que tener longitud, altitud, anchura y duración*”

En un fragmento siguiente el inventor constata:

“*Bien, no tengo ningún inconveniente en decirles que trabajo sobre esta geometría de cuatro dimensiones desde hace algún tiempo. Algunos de mis resultados son curiosos. Por ejemplo, aquí está el retrato de un hombre a sus ocho años de edad, a los quince, a los diecisiete, a los veintitrés, etc. Todos ellos evidentemente son secciones, de hecho, representaciones de su ser tetra-dimensional, que es una cosa fija e inalterable*”. (H. G. Wells, *The Time Machine*).

Al leer *La Máquina del Tiempo* vale la pena revisar la primera edición. La fecha fue: **1895**.

Resulta entonces que H. G. Wells, un autor de ficción científica, de hecho, tiene prioridad en la invención de los conceptos básicos de la teoría de la relatividad, tal y como los conocemos hoy (el espacio-tiempo de las cuatro dimensiones, las líneas del mundo, etc.) y lo hizo 10 años antes de Albert Einstein [esta anécdota la debo a las discusiones con Constantin Pirón, en Ginebra en 1978]. Si los físicos en ese entonces hubiesen leído ficción científica, ¡quizás la historia del mundo hubiera tomado un curso diferente!

## **Shangri La y las complicaciones**

En las siguientes décadas la ciencia ficción ya no tuvo éxitos tan brillantes. No obstante, en 1933 el tema de la *manipulación temporal* reapareció en una novela utópica acerca del monasterio Shangri La (James Hilton, *The Lost Horizon*).

Muy lejos, en las montañas del Tibet, cuenta el texto, hubo un valle oculto, donde una comunidad de monjes, encerrada en el monasterio Shangri La, pasaba sus días en meditaciones. Quien encontrase el difícil camino y lograra llegar allá, podía después de muchos años regresar sin envejecer visiblemente. La razón era que en aquel valle el flujo del tiempo casi se detenía, y quienes vivían allí conservaban una juventud prácticamente eterna...

A pesar de su reconocido éxito nostálgico, la lógica de esta novela parece cuestionable. (El autor debería hacer notar que si el flujo del tiempo se detenía, también la meditación se entorpece, en términos del número de pensamientos por siglo). Mientras tanto la ciencia avanzaba, adelantando a su vez a la ficción. Entre 1907 y 1918 nació la relatividad general, en 1926-28 la mecánica cuántica, después las teorías clásica y cuántica de los campos, y

ahora surge una pregunta desafiante: ¿Cómo debería proceder un autor moderno de ciencia ficción (C/F) para escribir una novela acerca de la *manipulación del tiempo*, si quiere hacerlo en verdad bien? Dejemos a un lado el problema más ambicioso del *vehículo del tiempo* (*time machine*) y tratemos de resolver un problema modesto: ¿Cómo escribir una historia de Shangri La de acuerdo con los conocimientos actuales?

En primer lugar, un autor moderno, tratando de repetir el éxito, tendría que cuidar mucho más la consistencia y los pequeños detalles del cuento por razones ajenas a su expresión dramática. Así, al presentar el tema: "... *el tiempo comenzó a fluir más despacio*", de inmediato notaría que si el fenómeno ocurriese simultáneamente en todo el universo, los efectos serían invisibles: todos los procesos físicos desacelerarían pero también lo harían nuestra percepción y pensamientos. Como consecuencia, ¡no notaríamos nada y el motivo del cuento quedaría anulado!

Entonces tenemos que empezar la intriga suponiendo que el flujo del tiempo solamente quedó afectado dentro de una región limitada del espacio: por ejemplo, en un cubo de  $(2m) \times (2m) \times (2m)$ . Afuera, el tiempo fluye y su medida es  $t$ ; mientras adentro el flujo es más lento (o acelerado) y su medida es  $\tau = \lambda t$ , con  $\lambda$  diferente de 1. Por simplicidad suponemos que  $\lambda = \text{const.}$  ( $\lambda > 1$  correspondería a la aceleración y  $0 < \lambda < 1$  a la desaceleración del tiempo) ¿Qué significa esto? Significa que cualquier proceso físico que tuvo la tendencia de pasar con una velocidad dada, al ocurrir en nuestra *zona mágica* de los  $[2m]^3$ , pasará con la misma velocidad, pero respecto al nuevo tiempo.

Así, una partícula que se acerca a la zona mágica con una velocidad de  $10 \text{ m/s}$ , al penetrarla seguirá avanzando con la velocidad de  $10 \text{ m/s}$ , pero por segundo respecto al tiempo  $\tau$  y no del tiempo  $t$ . Cuando  $0 < \lambda < 1$ , observado desde afuera, es decir, respecto al viejo tiempo ( $t$ ), su avance parecerá más lento. Un efecto análogo pasará con todos los otros procesos físicos.

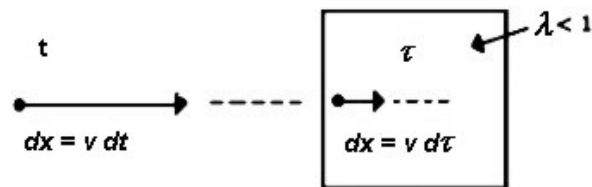


Figura 2. La desaceleración de los procesos físicos debido a su adaptación a la nueva medida del tiempo.

Mientras que en las novelas del pasado aquel hipotético efecto sirvió como pretexto para construir los monasterios, seguramente el autor contemporáneo fijará la atención en una variedad de aspectos técnicos, sin abstenerse de las aplicaciones comerciales. De ellas, sin duda, la más obvia será el nuevo tipo de refrigerador Shangri La, basado en la dilatación del tiempo. De hecho, supóngase que nuestra zona del tiempo lento simplemente es un armario pintado de blanco con un regulador externo del parámetro  $\lambda$ . Ahora imagínese que alguien encerró un pollo recién asado en el armario, fijando un valor de  $\lambda$  muy pequeño. Después se fue, se le olvidó, vivió muchos años y al fin murió. Cien años después, sus herederos abrieron el armario y sacaron el pollo todavía fresco: puesto que, mientras afuera pasó un siglo, dentro del armario sólo transcurrieron unos cuantos minutos y la carne no envejeció. Incluso, un sobrino afirmaba que el pollo todavía estaba caliente. No era que el pollo hubiese sido refrigerado, ¡sino que el tiempo mismo había sido congelado!

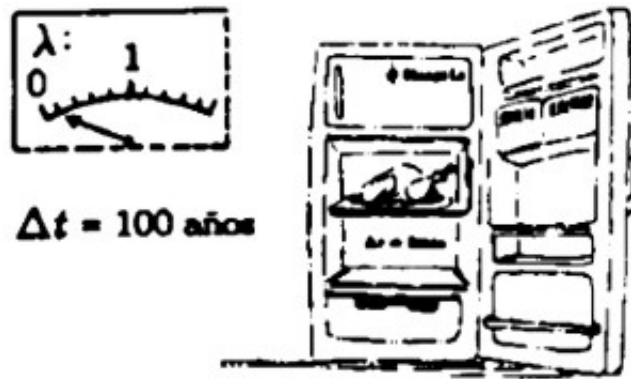


Figura 3. En el refrigerador del tiempo el pollo permanece fresco y caliente.

Por supuesto que nuestra trama de C/F es exagerada. En la ciencia pura, igualmente interesante sería el problema simple del cambio de colores de la radiación emitida y recibida dentro y fuera de la zona especial para valores de  $\lambda$  menos extravagantes. De hecho, supongamos que metemos una vela encendida dentro del *refrigerador del tiempo*. Normalmente la flama de la vela emite radiación de determinadas frecuencias, debido a sus oscilaciones atómicas. Ahora, estas frecuencias resultarían las mismas, pero respecto al tiempo interno  $\tau$ . Observadas desde afuera (respecto al tiempo exterior  $t$ ) parecerían más lentas y para un observador externo la luz de la vela estará desplazada hacia el rojo. Al contrario, si el observador se metiera al refrigerador y mirara el mundo exterior, vería todo en colores azul y violeta; y para  $\lambda$  más pequeños, en colores infravioleta, o finalmente, en el color de los rayos X... si pudiera. (El lector puede comparar esta situación con el mecanismo del corrimiento al rojo (*red shift*) en la astrofísica.)

Aplicaciones aún más atrevidas surgen si  $\lambda > 1$  (*aceleración del tiempo*). Efectivamente, al disponer de un cuarto en donde  $\lambda \gg 1$ , no sería nada extraño esconderse en el interior para descansar unas doce horas, ¡mientras afuera pasa sólo un minuto! Con un valor todavía más grande de  $\lambda$ , sería posible meterse a trabajar intensamente unas semanas y salir después de unos segundos. Sin embargo, ¡Cuidado con quedarse con el cuerpo dentro de la zona del tiempo alterado y la cabeza afuera, o al revés! Nuestra cabeza necesita una determinada cantidad de oxígeno por segundo del tiempo  $t$  y, en tal caso, el cuerpo proporcionaría la misma cantidad, ¡pero por segundo del tiempo  $\tau$ ! Las consecuencias no se harían esperar, ya sea para  $\lambda$  mayor o menor que 1.

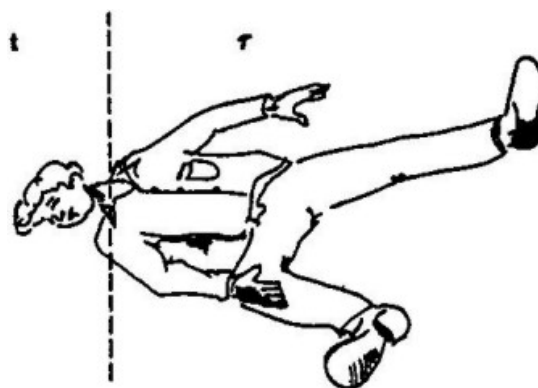


Figura 4. Quedarse con una parte del cuerpo en la zona del tiempo alterado y el resto afuera causaría un problema...

Otro fascinante uso de las zonas de tiempo lento sería la construcción de paredes, ventanas y superficies protectoras. Efectivamente, supongamos que alguien sustituyó parte de una pared por una zona de tiempo lento de igual forma y anchura; el resultado sería una ventana protectora, muy eficaz e invisible. Al salir de casa por la tarde, ni siquiera necesitamos cerrarla, temerosos de los ladrones ya que, sin saberlo, el ladrón para saltar gastaría unas horas en vez de unos segundos e inevitablemente acabaría siendo detenido.

Si  $\lambda = d\tau/dt$  fuese todavía más pequeño, las propiedades protectoras se manifestarían con mayor fuerza. Supongamos que estamos detrás de la ventana tomando café y mirando el jardín cuando, de repente, un enemigo escondido en los arbustos dispara. En el caso de la ventana normal estaríamos muertos en una fracción de segundo. Pero, esto no ocurre con la ventana especial. Al entrar en la zona del tiempo lento, la bala (desde el punto de vista de nuestro tiempo exterior) comenzará a moverse como en una película lenta. Entonces, con calma podremos observar cómo esta penetra laboriosamente en el espacio interno de la ventana. Sin prisa, podríamos terminar nuestro café y, finalmente, cuando veamos que la bala ha excedido la mitad del *espacio embrujado*, alejarnos. Incluso podríamos salir y persuadir a nuestro enemigo de sentarse en el mismo lugar que ocupábamos y tomar una taza de café. Confundido por un instante, el pensará que no dio en el blanco y aceptaría la invitación para desviar la atención. Mientras tanto, al llegar a la superficie interna de la zona protectora, la bala recobrará su velocidad inicial, y el frustrado asesino perecerá como consecuencia de su propio disparo.



Figura 5. El asesino morirá como consecuencia de su propio disparo...

Para  $\lambda$  aún más pequeño, este fenómeno afectaría notablemente no sólo a las balas u otros objetos masivos, sino también a los rayos de luz. Así, las escenas del mundo exterior que podríamos ver detrás de la ventana estarían un tanto retrasadas. Esta hipótesis llega a su extremo en un cuento de Ballard, en donde las ventanas del *tiempo lento* tienen un  $\lambda$  tan pequeño que un rayo de luz necesita medio año para penetrarlas. Así, durante el invierno, el propietario de la casa ve detrás de su ventana las escenas del verano, y durante el verano las nieves del invierno (una C/F de Ballard; pero ver los recientes resultados en [3]).

Sin embargo hay otro efecto, que llamó mucho menos la atención a los autores de C/F, aunque no es menos importante. Otra vez imaginemos una zona de tiempo lento, en forma de un cubo, con  $\lambda$  pequeño. Supongamos que alguien trata de meter allí un objeto masivo

como una barra de metal (Fig. 6). Vamos a imaginar la barra como una cadena de partículas que avanzan hacia el cubo.

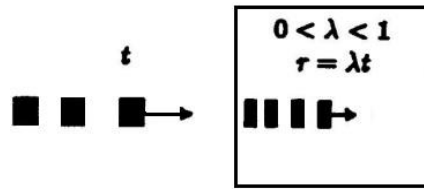


Figura 6

En el momento en que entra la primera partícula, su velocidad respecto al tiempo exterior  $t$  disminuye, mientras que las siguientes partículas todavía avanzan como antes. En consecuencia, la distancia entre la primera partícula y las siguientes tiende a disminuir. La situación se repite cuando la segunda partícula penetra al cubo, etc. Las partículas de un cuerpo físico, al introducirse dentro de la zona del tiempo lento, se concentran. Sin embargo, si la barra es rígida, su estructura se va a oponer: las partículas que ya entraron, protegidas por sus barreras de potencial, tratan de impedir el avance demasiado rápido de las siguientes... Al tratar de sacar la barra, ocurrirá algo semejante, aunque por una razón diferente. Ahora, las partículas que ya están afuera adquirirán velocidades más grandes. Ya que las demás no podrán seguirlos tan rápido, las distancias tendrán que aumentar, y otra vez el material opondrá resistencia. Las partículas que están dentro siempre entorpecerán el movimiento de las que están fuera y la zona del tiempo lento se comportará como un “medio físico pegajoso”. Efectos igualmente interesantes ocurrirían al afectarse las distancias espaciales (el tamaño del centímetro) en la zona especial.

Para evaluar la sensatez de una idea conviene llegar a situaciones extremas. Imaginemos ahora tal caso: una pared protectora, infinitamente delgada (prácticamente una superficie) en la cual  $\lambda$  es infinitamente pequeño y el flujo del tiempo queda completamente paralizado. Habría que esperar que un obstáculo de tal naturaleza se manifestara como una *película de espacio* completamente impenetrable. Una vez que cualquier cosa la toca (sea una mosca o un rayo de luz), ya nunca podrá desprenderse por no tener tiempo para hacerlo. Por esta misma razón la superficie (al no reflejar ningún rayo de luz) parecerá perfectamente negra. El autor de ficción científica con cierta experiencia quizá vacilará antes de meterse en la descripción de un objeto tan inverosímil. Sin embargo, este objeto es precisamente el que aparece en la teoría de la relatividad general.

## El horizonte del espacio-tiempo

La superficie en la que el flujo del tiempo se detiene recibe el nombre de “horizonte”, y es uno de los fenómenos que surgen en las soluciones de las ecuaciones de Einstein. El ejemplo más sencillo aparece en la *solución de Schwartzchild* para la métrica del espacio-tiempo siguiente [4,5]:

$$ds^2 = \left[1 - \frac{2m}{r}\right] dt^2 - \frac{dr^2}{\left[1 - \frac{2m}{r}\right]} - r^2 (\text{sen}^2 \theta d\theta^2 + d\phi^2)$$

Esta fórmula representa la geometría del espacio-tiempo con simetría esférica, creada por una masa puntual  $m$  situada en el centro de coordenadas ( $r = 0$ ), donde  $dt$ ,  $dr$ ,  $d\theta$ ,  $d\phi$  son cambios infinitesimales del tiempo universal y de las tres coordenadas espaciales en la línea de mundo de cualquier objeto físico puntual que atraviesa el espacio-tiempo; y  $ds$

representa su “tiempo propio”, válido para los procesos internos del objeto. Cuando el objeto se encuentra en un punto fijo, a la distancia  $r$  del centro del campo, los cambios  $dr$ ,  $d\theta$ , y  $d\phi$  se anulan, y la relación entre  $ds$  y el tiempo universal  $dt$  se convierte en:

$$ds = \lambda dt, \text{ con } \lambda = \left[1 - \frac{2m}{r}\right]^{1/2}$$

Como es fácil observar, para  $r > 2m$ ,  $\lambda < 1$ , el flujo del tiempo propio es más lento que el del tiempo universal; lejos del centro (para  $r$  grandes)  $\lambda \approx 1$ , la diferencia no es significativa; pero cuando  $r$  se acerca a la masa  $m$ , ésta se vuelve esencial. Cerca de un objeto físico pesado los procesos naturales transcurren de manera semejante a la novela de Shangri La.

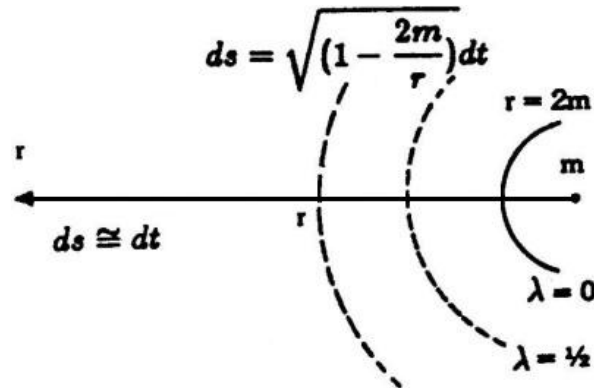


Figura 7. La geometría del tiempo para el universo de Schwarzschild.

En el dibujo de la figura 7 marcamos la distancia  $r = (8/3)m$ , en donde el avance del tiempo propio se reduce a la mitad del tiempo universal. Para valores de  $r$  todavía menores, el tiempo propio avanza aún más lentamente y por último, en el caso  $r = 2m$ , se detiene por completo ( $\lambda=0$ ). La esfera con radio  $r = 2m$  posee todas las cualidades de la superficie infinitamente protectora mencionada en nuestro cuento (es decir, es una trampa ideal que absorbe cada partícula y cada rayo de luz). Éste es precisamente el horizonte del espacio-tiempo de Schwarzschild. Una partícula física puede llegar hasta allí en su tiempo propio finito, mientras tanto, afuera transcurre una infinidad de tiempo y se acaba nuestro universo. Según la teoría general de la relatividad, una *superficie-trampa* de esta naturaleza tiene que formarse alrededor de cada masa física muy concentrada, creando así un objeto llamado agujero negro. Nuestra superficie singular para  $r = 2m$  es nada más un caso especialmente sencillo de aquel objeto. Observaciones recientes parecen confirmar la existencia de agujeros negros en nuestro universo físico. Resulta que la ciencia, en vez de desmentir a la ficción científica, la adelantó y hasta la dejó atrás. No siempre es así.

## El controvertido viaje al pasado

Uno de los temas favoritos de la ficción científica son los viajes al pasado. Son innumerables las intrigas que se pueden prever partiendo de la conjunción de épocas y culturas; sólo mencionaremos la carrera de un *yankee* en la corte del Rey Arturo (Mark Twain [6]), el contrabando de antigüedades por los viajeros del tiempo (Poul Anderson [7]) y el éxodo de los moradores del siglo XXIII al Pleistoceno en busca de una vida simple [8]. ¿Qué puede decir la ciencia acerca de estas fantasías? Aquí el veredicto es definitivamente negativo, y la razón es fundamental. Si un hombre del presente pudiera viajar al pasado con todo su conocimiento de la historia, la podría cambiar, por ejemplo, matando a Adolfo Hitler en su cuna, o alertando a Julio César del complot de Bruto y Casio. Sin embargo, la

historia ocurrió y ya la conocemos ¡lo que debe significar que no somos capaces de viajar al pasado!

Algunos autores de C/F tratan de disipar esta dificultad describiendo excursiones al pasado en las que la historia está bajo protección legal. Así, Ray Bradbury cuenta acerca de un safari organizado para millonarios del siglo XXX para cazar dinosaurios en el Mesozoico. El reglamento de caza permitía matar solamente las bestias seleccionadas, que de todas maneras iban a perecer dentro de unos instantes (y de esta forma no afectar el curso natural de la prehistoria). A pesar de todas las precauciones la historia acaba mal. Al regresar al presente los viajeros son encarcelados por un régimen policiaco que no debería existir. Encerrados en una celda después de interrogatorios, no logran entender qué es lo que pudo pasar, hasta que uno de ellos nota una mariposa mesozoica aplastada en la suela de su zapato: ¡precisamente éste es el ejemplar que no debería haber perecido!... En cambio, algunos autores aceptan viajes al pasado bajo la suposición de que la historia va a cuidarse sola; i.e., en el tiempo presente automáticamente ya están incluidos todos los resultados de nuestros viajes y excesos en el pasado. (Véase una fascinante novela de Poul Anderson, *Guardianes del tiempo*, acerca de la fuga de un hombre moderno a Persia antigua, donde logra hacer una carrera real, convirtiéndose en Cyrus el Grande... ¡quien de otra manera no hubiera existido! [7]) Sin embargo, todas estas evasiones no logran desarmar una dificultad simple y básica.

Consideremos otra vez a *Filby*, el personaje de H. G. Wells. El problema es que si Filby viajara al pasado, allá podría hacer algo que cortaría su propia continuidad. Por ejemplo, Filby podría aterrizar mucho antes de su nacimiento y matar a su abuelo cuando éste todavía era un niño (la trama de la película “Volver al futuro” es muy semejante). ¿Qué pasaría entonces? Es muy simple, dicen algunos. Al matar a su abuelo, Filby no hubiera existido, y por eso debe desaparecer. Nótese que la respuesta es errónea. De hecho, si Filby no existió, en primer lugar, no pudo viajar al pasado y matar a su abuelo. Pero si no lo mató, entonces si existió; viajó al pasado y mató a su abuelo. Pero si mató al abuelo, entonces no existió, etc. La conclusión final es frustrante: *Si Filby existió, entonces no existió; pero si no existió, entonces existió.*

Este *cortocircuito lógico* tiene el nombre de *círculo causal* y es la razón principal por la que la ciencia de hoy definitivamente rechaza la existencia de un vehículo que podría llevarnos al pasado... Sin embargo, si usted cree que la ciencia respeta su propio veredicto, estará muy equivocado.

### **“Taquiones”: La ciencia escribe la ficción-científica**

En la teoría de la relatividad existe una rapidez especial  $c = 299792$  km/s (velocidad de la luz), y la ley que dice que ningún cuerpo físico puede superarla. El argumento tradicional se basa en la dependencia que la masa de un objeto físico tiene respecto de su velocidad  $v$ :

$$m = \frac{m_0}{\left[1 - \frac{v^2}{c^2}\right]^{1/2}}$$

donde  $m_0$  es la *masa en reposo*. “Si un objeto físico supera la velocidad  $c$ ”, dice el argumento, “su masa se volvería imaginaria, lo que no puede ocurrir por la definición misma de masa”. Los hechos que se conocen parecen confirmar la ley; sin embargo, el argumento resultó falso (¡a pesar de ser formulado por Albert Einstein!). Al examinar



cuidadosamente el origen de la fórmula para la masa, uno nota que su validez es condicional: la fórmula sólo vale si suponemos de antemano que la velocidad del cuerpo es menor que  $c$ . Al volverse  $v$  mayor que  $c$ , no es la masa la que se vuelve imaginaria, sino la fórmula la que se vuelve falsa.

En la teoría de la relatividad existen otras razones para desacreditar cualquier rapidez mayor que  $c$ . Una de ellas es la ley de la composición de velocidades. En el caso de velocidades paralelas (que denominamos  $v$  y  $w$ ) la ley dice:

$$v \& w = \frac{v + w}{1 + \frac{v \cdot w}{c^2}}$$

Esta fórmula implica que el resultado de la adición de dos velocidades paralelas menores que  $c$  es siempre menor que  $c$ . Así, un cuerpo que tuvo una rapidez menor que  $c$ , nunca podrá superarla, al acumular aceleraciones. Este argumento parece menos místico, pero deja una ruta de escape: ¿qué tal si existe un objeto que siempre ha tenido velocidad mayor que  $c$ ? En tal caso la ley de adición relativista funciona igualmente, pero ahora significa que tal cuerpo, al contrario, nunca podrá desacelerarse a una velocidad menor que  $c$ . Siguiendo esta idea, en la física moderna surgió una nueva rama, la teoría de los “taquiones”, partículas hipotéticas que atraviesan el espacio-tiempo siempre con velocidad mayor que la de la luz [9, 10]. Y con esto, ocurrió un desastre.

En 1967, Félix Pirani [11] construyó el esquema del intercambio de taquiones entre cuatro observadores en el espacio-tiempo, del cual otra vez surgió el círculo causal. En nuestra figura 8 los números 1, 2, 3 y 4, representan las líneas de mundo de los cuatro observadores.

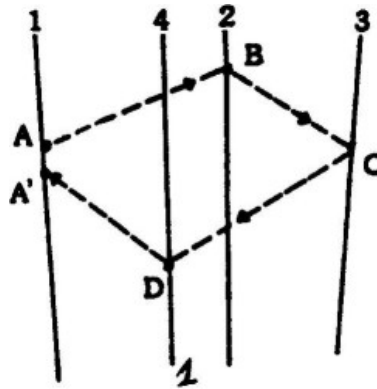


Figura 8. La escalera taquiónica de Pirani.

El observador 1 en el punto A de su trayectoria emite un taquión, que desde el punto de vista de su sistema de referencia se propaga hacia arriba en el tiempo (hacia el futuro). El observador 2 absorbe este taquión en el punto B, y al hacerlo, inmediatamente emite otro taquión, que se propaga hacia el futuro en su sistema de referencia. Este taquión, a su vez es absorbido por el observador 3 (en el punto C), quien enseguida emite el suyo (otra vez hacia adelante en el tiempo), y lo mismo hace el observador 4. Aunque cada vez el nuevo taquión sale adelante en el tiempo según el sistema de referencia del observador que lo emite, Pirani demuestra que el último taquión será absorbido por el primer observador *antes* del momento de su emisión. La situación que resulta tiene un análogo curioso en las obras de arte moderno.

El artista suizo Escher se dedicaba a dibujar cosas imposibles, que se pueden diseñar debido a los engaños de la perspectiva, pero que no existen en la realidad. Una de las más famosas es la *escalera de Penrose*. En la versión de Escher, ésta es una escalera que se extiende a lo largo de las cuatro paredes de la cumbre de una torre rectangular, de tal manera que los escalones, subiendo siempre arriba, finalmente forman un circuito cerrado [12]. En cierto sentido, la construcción de Pirani es aún más radical pues los taquiones, subiendo siempre hacia el futuro, finalmente acaban abajo del evento inicial. La paradoja causal no se hace esperar.

Efectivamente, supongamos que en vez de un observador, la línea 1 representa un objeto mecánico programado de manera que emita un taquión en el punto A, bajo la condición de que ningún acto de absorción lo afecte antes. El círculo causal surge de inmediato. Si el objeto emitió el taquión en A, entonces lo absorbió en A', pero en tal caso no lo emitió en A. Sin embargo, si no lo emitió, no lo absorbió en A', y entonces si lo emitió en A:

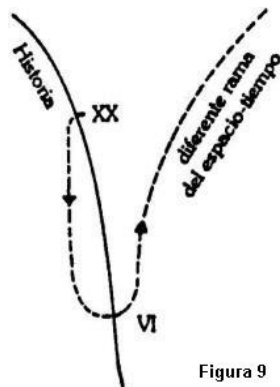
*Si no lo emitió, lo emitió;*

*pero si lo emitió, entonces no lo emitió.*

¿Podría pensarse que debido a una contradicción tan básica la teoría de los taquiones queda desacreditada? Nada de esto. El número de publicaciones al respecto crece; incluso, han surgido teorías cuánticas del campo taquiónico. ¿Y la paradoja? La paradoja también persiste. Los teóricos esperan un mejor día para contestar esta pregunta; mientras tanto desarrollan la teoría, aunque ésta pueda resultar falsa. Curiosamente, la única idea de cómo romper el círculo vicioso llegó de parte de un escritor de ficción científica.

## La ficción científica rompe el círculo causal

En 1965, L. Sprague de Camp escribió una novela de C/F en la que propone una posible solución a la paradoja causal [13]. Según su hipótesis, el espacio-tiempo no es único, sino que en cada punto tiene una variedad de ramificaciones, esto es, de entradas a otros posibles universos. El hombre del siglo XX puede dar el salto al pasado (aun cuando la tecnología todavía no existe); sólo que en tal caso ya no subirá por la misma rama de la historia (o más bien del espacio-tiempo) sino por otra en la que aparece un hombre moderno en uno de los siglos pasados, con todas las consecuencias físicas.



Sprague de Camp ilustra esta hipótesis en forma de una epopeya aventurera. El héroe de su novela, un joven arqueólogo americano, está de visita en Roma cuando al pasar por la plaza del Panteón le sorprende una violenta tempestad. Tratando de encontrar un refugio, cae víctima de un relámpago. Sobrevive, pero al recobrar el conocimiento ve a su alrededor

a los paseantes vestidos con túnicas y edificios desconocidos alrededor del Panteón; se encuentra en la antigua ciudad de Roma. Una rápida recolección de datos muestra que está en el reino de los Gotos, antes de la destrucción definitiva de la civilización romana. Sin embargo, pronto, el reino de los Gotos será invadido por Belisario, quien tratará de recuperar Italia para el imperio romano oriental. Estallará una destructora guerra de 20 años de la que la antigua civilización de Italia ya no se recuperará. En aquel mundo turbio aterrizó el joven científico del siglo XX con un abrigo de gabardina, unos cheques de viajero, unos centavos de dólar, un lápiz y un minicuaterno de notas. La subsecuente intriga del libro cuenta acerca de sus esfuerzos por sobrevivir en el siglo VI, lo que no resultó tan fácil.

A primera vista parecería que el visitante del siglo XX tiene enormes ventajas en esta situación, debido a su sabiduría. De hecho, una de las primeras ideas de nuestro viajero fue: “*¡inventaré la pólvora!*” Sin embargo, pronto se dio cuenta de que en verdad no sabe cómo hacerla (¡nuestra sabiduría depende del uso de muchas prótesis!) Lo remediaría entrando en cualquier biblioteca de química en Nueva York o en Roma, ¡pero éstas todavía no existían! Su primer éxito en el mundo antiguo consiste en vender las monedas a un banquero sirio, explicándole que es el dinero de una nación muy poderosa que todavía vive más allá de los alemanes. Luego logra vender... el sistema de los números árabes. Su primer invento técnico es la destilación del vino para obtener el brandy. Con esto logra convertirse en un personaje influyente, con acceso a la corte del rey de los Gotos, Thiudahad. La novela cuenta sus esfuerzos por salvar el reino de los Gotos y, simultáneamente, la civilización romana, de la invasión de Belisario por medio de unos inventos muy modestos (e.g., los estribos para la caballería). Al fin, Belisario pierde la batalla y cae prisionero; el estado de los Gotos está a salvo, el arqueólogo prepara una expedición para descubrir América: ha subido a otra rama del espacio-tiempo, en la que la historia de la humanidad toma un curso diferente (véase Figura 9).

La novela de Sprague de Camp pertenece a un amplio género de la C/F basado en la idea de los *Universos Paralelos*. Según esta idea, nuestro espacio-tiempo no es único: es miembro de una variedad infinita de universos posibles, dentro de los que cada fantasía que podemos imaginar resultará realidad en una de las copias. Así, hay un espacio-tiempo en el que existe la humanidad, pero no hubo revolución francesa, y hay otros en los que Napoleón conquistó el mundo. Hay universos en donde nuestra ciencia es una superstición, y lo que consideramos superstición es una ciencia [14-16]. Quizás el lector considerará esta corriente de C/F sin importancia para el avance de la ciencia. No obstante, en los años 50 surgió la nueva interpretación de la mecánica cuántica, según la cual el indeterminismo de los microfenómenos se debe al hecho de que los objetos cuánticos existen en un laberinto de posibles espacios-tiempos, entre los que constantemente se elige uno, perdiendo de vista a los otros [17-19]. Es preciso agregar que, hasta ahora, los físicos no han asociado esta idea con la solución de la paradoja causal para la propagación de los taquiones. Nótese también la proliferación de los *universos paralelos* en las teorías actuales de branas y cuerdas [20-24]. Lo suponen las recientes teorías de la (hipotética) *materia oscura* [25-27] (la materia oscura existe en un universo cercano, paralelo al nuestro, y desde allí ejerce una influencia gravitacional). Por supuesto, todas estas teorías se deben tomar con un indispensable grano de criticismo (sin embargo, ¡las críticas también requieren criticismo!) *¿Será la ficción científica un catalizador indispensable para el progreso de la ciencia?*

## Referencias

- [1] Albert Einstein, *Annalen der Physik* **17**, 891 (1905)
- [2] H. G. Wells, *The Time Machine*, and *The Invisible Man*, New Am. Library (1984)
- [3] L.V. Hau, *Frozen Light*, *Sci. Am. Special* **13**, No. 1, 44 (2004)
- [4] C.V. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, *Gravitation*, Freeman (1973)
- [5] R. M. Wald, *General Relativity*, Univ. Chicago Press (1984), Ch. 6, 12
- [6] Mark Twain, *A Connecticut Yankee in King's Arthur Court*, Bantam Classics (reissue; June 1994)
- [7] Poul Anderson, *Time Patrol*, Tor Books (1994)
- [8] Julian May, *Pleistocene Exile*, Ballantine (1994).
- [9] O-M. Bilaniuk and E. C. G. Sudarshan, *Phys. Today* (May 1969) p.43.
- [10] Jerzy Kowalczyński, *The tachyon and its fields*, Polish Acad. Sci., Warsaw (1996).
- [11] F. A. E. Pirani, *Phys. Rev. D* **1**, 3224 (1970)
- [12] M. C. Escher, *Estampas y dibujos, (Ascending and Descending)*, Taschen, (1994).
- [13] L. Sprague de Camp, *Lest Darkness Fall*, Baen Books (reissue Aug. 1996); en español: *Que no caigan las tinieblas*, Diana, México (1968).
- [14] L. Sprague de Camp and F. Pratt, *The Compleat Enchanter*, Baen Books (Sept. 1992).
- [15] Frederic Brown, *What mad universe* (en español: *El universo de locos*, Biblioteca de C/F 82, Ed. Orbis SA, Barcelona 1986).
- [16] Piers Anthony, *Split Infinity*, Ballantine Books (Oct.1987).
- [17] H. Everett III, *Rev. Mod. Phys.* **29** (1957) 454; ver también [20].
- [18] B. S. DeWitt and R. N. Graham, *The Many-Worlds interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton Univ. Press (1971).
- [19] J. A. Wheeler and W. H. Zurek (Eds.), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton Univ. Press (1983).
- [20] H. Compeán and N. Quiroz, *Avance y Perspectiva* **15**, 13-18 (1996)
- [21] E. Witten, *Phys. Today* (May 1997) 28-33.
- [22] H. Compeán, (Los Lunes en la Ciencia), La Jornada, Lunes 1 de junio (1998).
- [23] M. G. Duff, *Sci. Am.* (February 1998) 64-69.
- [24] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos and G. Dvali, *Sci. Am.* (August 2000) 62-69.
- [25] S. Hawking, *The universe in a nutshell*, Bantam Books, New York (2001).
- [26] T. Matos, *Rev. Mex. Fís.* **49**, S16 (2003).
- [27] A. Linde, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0211048>.