

Las Relatividades

*Las maldades de este mundo
son cosas correlativas...*

Guaguancó cubano

En 1905 algunos pilares básicos del edificio newtoniano fueron estremecidos por un joven de la misma edad que tenía Newton cuando meditaba su teoría del movimiento. La relatividad especial de Albert Einstein resolvió una incompatibilidad que existía entre la física de Newton y las ecuaciones de Maxwell. Paradójicamente el *impasse* estaba en la explicación de un resultado experimental conseguido precisamente por Michelson, aquel que quince años antes había decretado con cierta ingenuidad parroquial que el camino de la física ya había sido transitado en su totalidad.

¿Cómo desenredó Einstein el desacuerdo entre Newton y Maxwell? Sacrificando algunas de las nociones fundamentales del sistema newtoniano que durante más de dos siglos fueron aceptadas como indoblegables, pero que ahora mostraban su flanco débiles.

En particular, la idea newtoniana de un tiempo absoluto con un transcurrir igual para todos los observadores, fue sustituida por la idea de un tiempo local, privado, en la cual el ritmo del flujo del tiempo depende del movimiento de cada observador. Asimismo, la simultaneidad dejó de ser un concepto absoluto. De acuerdo con la relatividad especial dos sucesos simultáneos para un observador no lo serán para otro que se mueve respecto del primero.

La energía de un cuerpo que de acuerdo con Newton aumenta cuadráticamente con la velocidad, en la relatividad de Einstein está dada por la ecuación

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío. Esta relación dice entre otras cosas que ningún cuerpo puede tener una velocidad mayor que la de luz, respecto ningún sistema de referencia. El espacio y el tiempo de la relatividad especial están interconectados formando una entidad de cuatro dimensiones, el *espacio-tiempo*, y distintos observadores perciben distintas proporciones del espacio y del tiempo, así como las aristas de un cubo lucen de diversas longitudes vistas desde diversos ángulos.

Todas estas extrañas e insólitas predicciones de la teoría especial de la relatividad son la consecuencia directa e inapelable del hecho observacional -ampliamente verificado- que señalamos anteriormente, a saber: que la velocidad de la luz es siempre la misma, independiente del movimiento de la fuente que la emite o del observador que la detecta. Einstein no hizo otra cosa que seguir el viejo precepto que Sherlock Holmes invocaba con

frecuencia delante del inefable Watson “...una vez que *hayas eliminado lo imposible, lo que quede, por improbable que sea, tiene que ser la verdad...*”

Pero, más allá de las diferencias, hay mucho del espíritu newtoniano en la relatividad especial. La ley de inercia y el principio de relatividad, de acuerdo con el cual las leyes de la física son las mismas para todos los observadores en movimiento relativo uniforme, son exactamente los preceptos newtonianos pero ahora válidos para toda la física y no sólo para la mecánica. Sólo ha cambiado el “diccionario” que permite traducir las observaciones (posición y tiempo, o mejor, las coordenadas espaciales y temporal de un evento) entre distintos sistemas de referencia. Las leyes de movimiento para las partículas en la relatividad, comparten rasgos comunes con las newtonianas: son ecuaciones diferenciales de segundo orden, y basta conocer la fuerza que actúa sobre una partícula para que su trayectoria quede determinada si sabemos su posición y su velocidad en algún instante inicial. De modo que la relatividad es también una forma de predecir el futuro de un sistema si conocemos su estado actual.

Hacia 1915 el otro gran aporte de Newton -la teoría de gravitación- habría de ser desplazado por otra teoría de la interacción gravitatoria, la *relatividad general* o teoría relativista del campo gravitatorio. Esta vez la motivación de Einstein no se debía a ningún desacuerdo o discrepancia entre la teoría y la observación. De hecho no había ningún fenómeno ni experimento que sugiriera que la teoría de Newton debía ser modificada, mucho menos suplantada por otra teoría. Se trataba más bien de una urgencia conceptual, una necesidad de consistencia interna en el propio cuerpo de la física. La relatividad especial prohibía la transmisión de energía a velocidades superiores a la de luz y, sin embargo, la teoría de gravitación newtoniana tenía el pecado original de la acción a distancia instantáneamente, es decir, de propagarse con una velocidad infinita.

La coherencia y la unidad en nuestra descripción de la naturaleza, a las que Newton tanto contribuyó, exigía redimir a la física de ese pecado. Para ello Einstein volvió a sacrificar algunas queridas nociones. En particular el rígido espacio-tiempo se hizo flexible, cambiante en su interacción con la materia. Es el famoso espacio curvo en el que las propiedades geométricas del espacio (ángulos, longitudes) y el flujo del tiempo (el tic-tac de los relojes) dependen de la gravitación producida por las masas. La unidad indisoluble de la nueva teoría gravitacional es espacio-tiempo-materia. El propio concepto dinámico de fuerza gravitacional es reemplazado por el concepto geométrico de curvatura del espacio-tiempo. En las ecuaciones de Einstein, la materia le dice a la geometría a su alrededor cómo se va a curvar, y la geometría le dice a la materia en ella inmersa, cómo se va a mover.

El irlandés George Bernard Shaw ilustró con una elegante ironía, el punto de vista de la relatividad general:

Newton, como buen inglés postuló un Universo rectangular porque los ingleses usan la palabra “square” para demostrar honestidad, verdadero, rectitud. Newton sabía que el Universo consta de cuerpos en movimiento y que ninguno de ellos se mueve en línea recta, ni podría hacerlo. Pero un inglés no se amilana por los hechos. Para explicar por qué los cuerpos se mueven así, inventó una fuerza llamada gravitación y entonces erigió un complejo universo británico y lo estableció como una religión en la que se creyó por trescientos años. El libro de esa religión no es esa cosa oriental mágica: la Biblia, es el tablero de Trenes Ingleses, que da las estaciones de todos los cuerpos celestes, sus distancias, las velocidades a las que viajan y la hora a la que llegan a eclipsar puntos o estrellarse contra la Tierra. Todo ítem es preciso, comprobado, absoluto e inglés.

Trescientos años después de establecido el sistema surge un joven profesor en el medio de Europa y le dice a los astrónomos:

–Caballeros, si Uds. observan el próximo eclipse de sol con cuidado, entenderán qué pasa con el perihelio de Mercurio–....

El joven profesor sonríe y dice que la gravitación es una hipótesis muy útil y da resultados bastante buenos en muchos casos, pero que él, personalmente puede prescindir de ella. Le preguntan ¿cómo? si no hay gravitación los cuerpos celestes se moverían en líneas rectas. Él responde que no hace falta ninguna explicación porque el Universo no es rectilíneo ni exclusivamente británico: es curvilíneo.

La nueva teoría describe cómo los rayos de luz se curvan cuando rozan la presencia de los cuerpos celestes y afirma que la gravitación se propaga a través de ondas gravitacionales que viajan a la velocidad de la luz. La relatividad general permite hablar del triunfo dramático de la gravitación sobre las otras fuerzas en objetos masivos que colapsan para formar huecos negros, en cuyos orígenes una singularidad marca el borde mismo del espacio y el tiempo. La relatividad general es también la base teórica para describir la estructura y la evolución del Universo a gran escala desde su nacimiento hasta su posible destino final. Sin embargo, a pesar de las enormes diferencias formales y conceptuales entre la gravitación einsteniana y la gravitación newtoniana, no deja de ser sorprendente el hecho de que la magnitud física observable más importante en ambas teorías es la misma: los cambios en la fuerza gravitacional.