

# CURVATURA DEL ESPACIO-TIEMPO Y UNIFICACIÓN DE CAMPOS

Joaquín González Álvarez

Como es sabido, la Teoría Especial de la Relatividad (TER) se restringe a sistemas en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, estableciendo su primer principio la imposibilidad de poder determinar si un sistema está en uno u otro de los citados estados mediante experimentos mecánicos efectuados en el mismo. Años más tarde de la enunciación por Einstein de la TER, éste dio a conocer la generalización de la teoría a sistemas animados de movimiento variado.

Según la Teoría General de la Relatividad (TGR) de Albert Einstein, las variaciones en un proceso físico ocurridas en un sistema debidas a la aceleración del mismo, son indistinguibles de las ocurridas por la acción de masas o de energía sobre el sistema en cuestión. Tal hecho explica el que un rayo de luz pueda ser desviado por un campo gravitatorio lo cual puede entenderse mediante el experimento ideal descrito de la siguiente forma. Imaginemos un ascensor cerrado que en una de sus paredes tiene un pequeño orificio. Estando en reposo, un rayo de luz penetra por el orificio proyectando un punto luminoso en la pared de enfrente a la misma altura del orificio. Si este proceso se repite con el ascensor en movimiento acelerado hacia arriba, el punto luminoso se proyectará a una altura inferior a la del orificio ya que durante el trayecto del rayo el punto en donde se había proyectado la luz cuando el reposo, se habrá desplazado hacia arriba junto con el ascensor. Todo ocurre como si el rayo se hubiera curvado hacia abajo. Por lo que dijimos al principio, la TGR afirma que la misma curvatura se hubiera producido por la acción gravitatoria de un cuerpo masivo.

Las consecuencias de lo que predice la TGR antes expuestas, se fundamentan teóricamente a partir de las ecuaciones de la TGR y sus derivaciones:

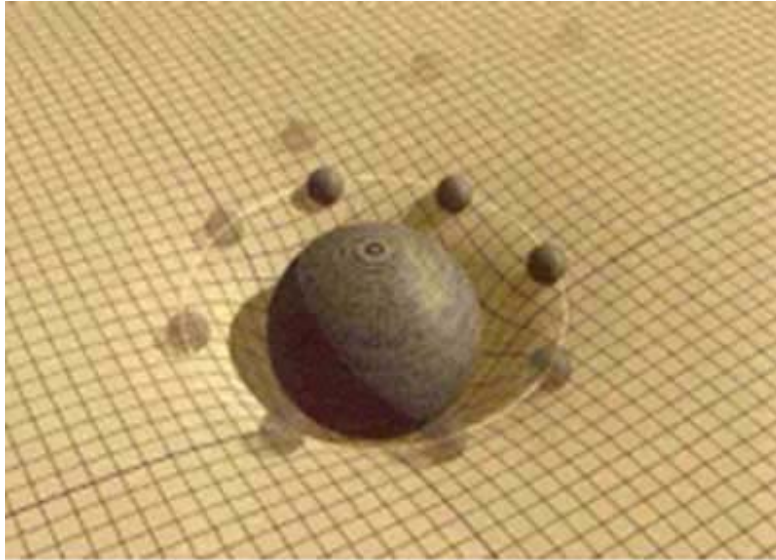
$$R_{ab} - 1/2 g_{ab}R = kT_{ab}$$

donde es  $R_{ab}$  el tensor de Ricci,  $g_{ab}$  el tensor métrico,  $R$  la curvatura escalar,  $k$  constante y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.

Una ecuación la cual deriva de las fundamentales de la TGR, que evidencia que las masas y la energía curvan el espacio-tiempo, la podemos obtener formalmente mediante los siguientes razonamientos. Una relación deducida de las fundamentales de la TGR expresa que  $R_{ab} = (1/c^2)\Delta\Phi$  y por una analogía con la ecuación de Poisson:  $\Delta\Phi = \text{const.}\mu$  donde  $\Phi$  es el potencial gravitatorio,  $\mu$  la masa unitaria y  $R_{ab}$  tensor de curvatura de Ricci, se tendrá por las dos igualdades anteriores:

$R_{ab} = \text{const.}\mu$  en la que se evidencia la dependencia de la curvatura con la masa.

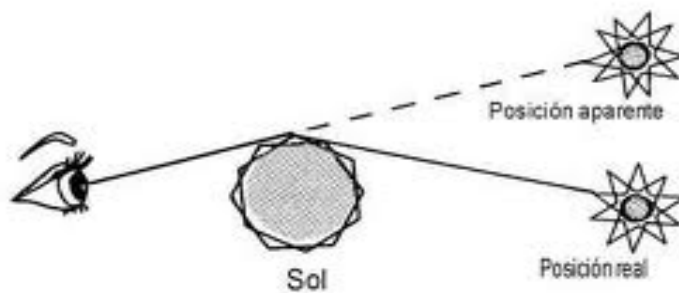
Lo anterior se interpreta como que una masa en el espacio-tiempo producirá una curvatura, una hondonada, parecida a la que produce un cuerpo pesado al asentarse sobre una lámina de goma tensada por sus puntas. Si otra masa se coloca cerca de la anterior se deslizará por las laderas de la hondonada hasta juntarse a la otra. De ese modo, por alteración geométrica del espacio-tiempo explica la TGR la atracción gravitatoria por lo que se ha llamado Geometrización a esta forma de razonar.



La curvatura del espacio-tiempo hace que un cuerpo muy masivo como es el caso de un astro como el Sol, desvíe un rayo de luz al pasar cerca del mismo. Este hecho permitió al famoso físico Arthur Eddington comprobar la veracidad de la TGR mediante un memorable experimento. En dicho experimento realizado durante un eclipse de Sol, fue posible observar desde la Tierra una estrella que no era posible ver directamente ya que el Sol la ocultaba, pero su gran masa actuando como colosal lente gravitatoria, desviaba los rayos luminosos de la estrella hacia los observadores en tierra, permitiendo su visualización y de paso probando espectacularmente la TGR.



**Sir Arthur Eddington**



Acerca de este histórico acontecimiento, ha pasado a la literatura de divulgación científica, una anécdota en la cual se cuenta que inmediatamente después de la crucial comprobación, los periodistas preguntaron a Einstein que hubiera hecho si el

resultado hubiera sido negativo, a lo que el sabio respondió: "Lo hubiera sentido por Dios por haberse equivocado".

Animado por la elegancia del método de la Geometrización, Einstein trató sin lograrlo aplicarlo al campo electromagnético en forma análoga a como se hizo con el gravitatorio. El físico Theodor Kaluza, con el mismo propósito de Einstein al estudiar la posibilidad de existencia de una quinta dimensión encontró que las ecuaciones que la justificaban coincidían con las propuestas por Maxwell para el campo electromagnético, pero la idea no prosperó al no haber manera de detectar la nueva dimensión.

Muchos intentos de unificación de los campos, no sólo el gravitatorio y el electromagnético, sino también los de la fuerza de interacción fuerte y de interacción débil, se continúan haciendo y teorías como la de las cuerdas han logrado atisbos de acercamiento teórico al sueño de Einstein. Desafortunadamente la teoría de las cuerdas no ha podido ser comprobada experimentalmente, pero los teóricos de la misma, aducen que una prueba de la validez del bello proyecto es que de su lógica interna se desprende la necesidad de existencia del no detectado todavía gravitón, nombre que se le ha asignado a la partícula portadora del campo gravitatorio. Si bien no por alteraciones geométricas del espacio-tiempo, se ha logrado la unificación de los campos no gravitatorios, y se trabaja afanosamente por obtener el soñado logro de unificar las cuatro grandes fuerzas de la naturaleza.

## **Bibliografía**

Einstein, A. 1984. The Meaning of Relativity. MJF Books. New York.  
Landau, L. y E. Lifshitz. 1959. Teoría Clásica de los Campos. Reverté. Barcelona.

**Joaquín GONZÁLEZ ÁLVAREZ**  
[j.gonzalez.a@hotmail.com](mailto:j.gonzalez.a@hotmail.com)