

# Einstein

## La relatividad de

### Parte II: Teoría especial

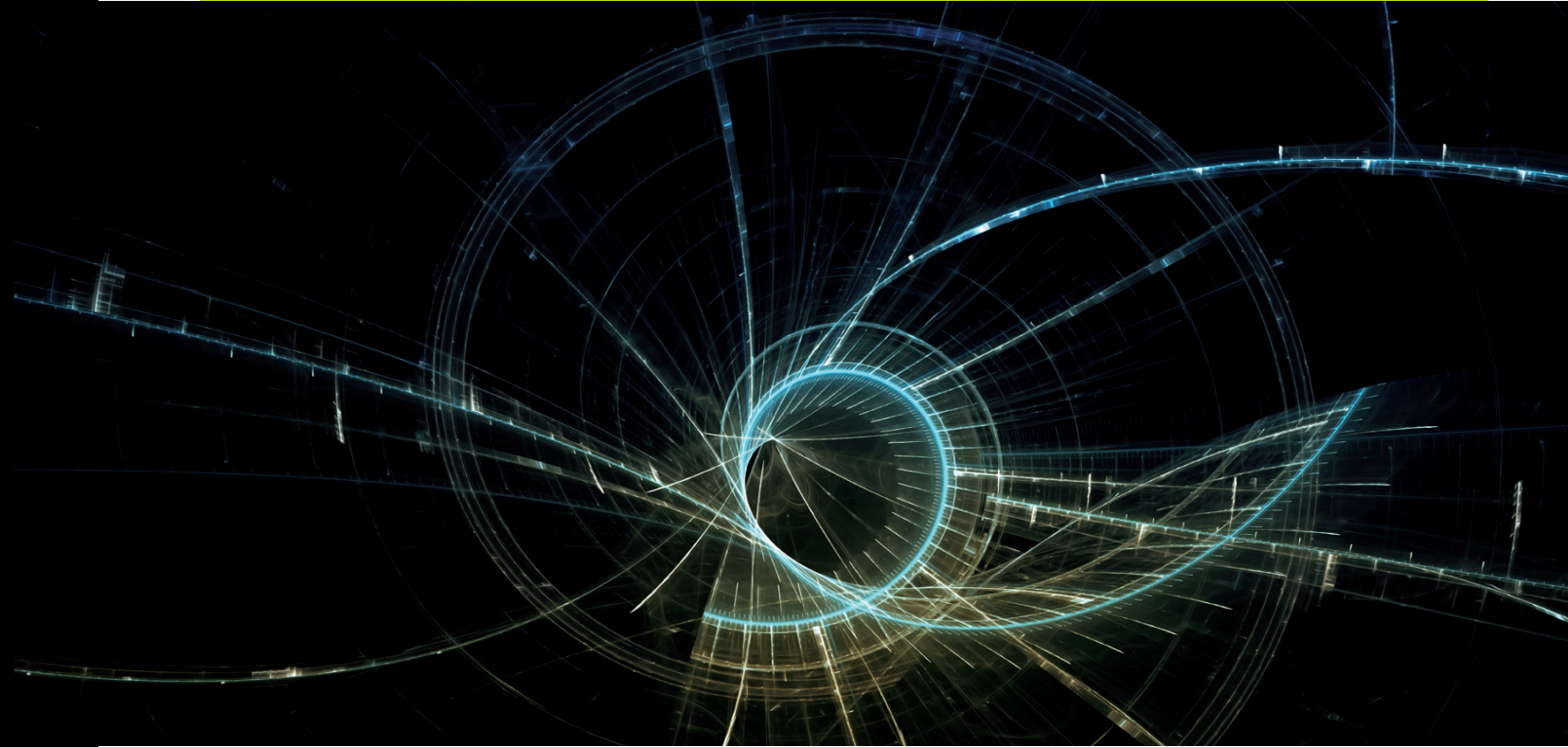


La teoría general de la relatividad es una teoría de gravitación y para entender sus antecedentes necesitamos analizar la evolución del estudio de la gravedad, como la filosofía aristotélica, que argumentaba que las fuerzas sólo podían ser de contacto y no a distancia, siendo esto un impedimento para el desarrollo del conocimiento de la física.

El estudio de Copérnico del sistema solar permitió, considerablemente, el avance en el entendimiento de la gravitación; las leyes del movimiento planetario de Kepler y el estudio de la caída de los cuerpos de Galileo, entonces sentó las bases para la teoría de gravitación de Newton, presentada en su *"Principia"* en 1687. La ley de gravitación universal de Newton se expresa como:  $F = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$ , donde  $M_1$  y  $M_2$  son las masas de los cuerpos gravitantes,  $d$  es su distancia y  $G$  es la constante de gravitación universal.

En 1900 Lorentz argumentó que la gravitación podría deberse a la acción de la fuerza que se propaga a la velocidad de la luz; Poincaré, en 1905 (unos días antes de que Einstein enviara su artículo sobre la relatividad especial) comentó que todas las fuerzas deberían ser las mismas bajo las transformaciones de Lorentz, argumentando que debería modificarse la ley de gravitación de Newton ya que no cumplía este principio, debido a esto introdujo el concepto de ondas gravitacionales que se mueven a la velocidad de la luz.

En 1907, dos años después de dar a conocer su teoría especial de la relatividad, Einstein se preguntó cómo debería modificarse la teoría de Newton para ser consistente con la relatividad especial. Bajo este razonamiento dedujo cómo un observador que está en caída libre no siente el campo gravitacional (esto, en sus propias palabras, fue la idea más feliz de su vida). Por ello propuso el principio de equivalencia: *"De esta forma asumimos la equivalencia física de un campo gravitacional y el correspondiente marco de referencia acelerado, extendiendo con esto el principio de relatividad especial al caso del movimiento uniformemente acelerado del sistema de referencia"*. Hacia 1907 publicó un trabajo sobre la deflexión de la luz en presencia de un campo gravitacional, que era una consecuencia del principio de equivalencia, y cómo esto podía ser comprobado experimentalmente por medio de observaciones astronómicas, ya que en experimentos terrestres resultaba imposible corroborarlo.



Einstein determinó que las transformaciones de Lorentz no son válidas en la formulación general y que las ecuaciones del campo gravitacional serían no lineales y, por lo tanto, muy complicadas. Entonces se dio cuenta de que la geometría tiene consecuencias directas en la física, ya que él mismo había estudiado la teoría de Gauss de superficies. Discutiendo ideas con su amigo Marcel Grossman, éste le habló de los trabajos de Riemann, Ricci y Levi-Civita, después de lo cual comentó: *"En toda mi vida no he trabajado tan arduamente y me he empapado de un gran respeto por las matemáticas, cuya parte más sutil había considerado como un lujo, hasta ahora"*. En 1913 Einstein y Grossman publicaron un artículo en el que usaron el cálculo tensorial para sus avances. Grossman le presentó a Einstein el tensor de Riemann-Christoffel que se convirtió en la máxima herramienta de la teoría futura. Aunque ésta todavía no estaba completa, ya se describía en términos del tensor métrico, a pesar de que Planck le aconsejó que no siguiera en esa dirección ya que sería erróneo o nadie le creería.

En la segunda mitad de 1915 Einstein finalmente terminó su teoría. Después de escribir un artículo de análisis tensorial en 1914 comenzó un intercambio de ideas con Levi-Civita, donde éste último le hizo saber de errores técnicos en tensores, sentando así las bases para su trabajo final, además de contar con la empatía de este gran científico por su trabajo de relatividad.

El 18 de noviembre de 1915 escribió sobre la explicación al problema del avance del perihelio de Mercurio. Esta problemática, con más de medio siglo sin solución, había sido descubierta por Le Verrier. El perihelio (el punto más cercano de la órbita al sol) tenía un avance de 38 segundos de arco cada siglo mayor a lo que se podía describir por otras causas. Se propusieron varias soluciones, como el que Venus fuera un 10% más pesado, que hubiera otro planeta interior a la órbita de Mercurio, que el sol fuera más oblatado (achatado) de lo que se observa, que Mercurio tuviera una luna o que la ley del inverso cuadrado de la distancia de Newton fuera incorrecta. Einstein trató de explicar el problema de la precesión de Mercurio junto con Freundlich, con el propósito de darle evidencia observacional a su teoría simultáneamente. Ese día de noviembre Einstein publicó la explicación del problema de la precesión mediante la aplicación de su relatividad general, obteniendo concordancia perfecta con el dato astronómico.

Einstein publicó otro trabajo, donde calcula que la desviación de la luz que había predicho en otro trabajo (1911) tenía un error por un factor de 2. Después de muchos intentos fallidos por medir esta desviación, dos expediciones científicas británicas pudieron confirmar su predicción en 1919.



El 25 de noviembre envió para su publicación el artículo *"Las ecuaciones de campo"* con la forma correcta de las ecuaciones de la relatividad general. Cinco días antes que él, Hilbert envió su trabajo *"Los fundamentos de la física"* con las mismas ecuaciones e incluso contribuyó con ingredientes extras, como el uso del principio variacional y el teorema de Emmy Noether, una herramienta vital en la física teórica, de la cual Hilbert esperaba que se pudieran unificar las teorías de gravitación y del electromagnetismo.

En diciembre, Ehrenfest le escribió a Lorentz discutiendo la labor de Einstein y mantuvieron correspondencia por dos meses, tratando de entender por completo la teoría. Finalmente, cuando Lorentz la entendió, Ehrenfest respondió: *"El hecho que la hayas entendido es, para mí, como cuando un masón reconoce a otro por medio de un saludo secreto"*.

Hoy la relatividad general juega un papel fundamental en muchas áreas, como la cosmología y la teoría del Big Bang, entre muchas otras. Además, se están realizando muchos experimentos para comprobar su exactitud con una precisión increíble, sin contar con los avances tecnológicos que ha permitido desarrollar, como el GPS y tecnología satelital y espacial.



- \* Cursos de Capacitación
- \* Información sobre Licitaciones de Obra Pública
- \* Trámites ante el Padrón Único de Contratistas de Gobierno del Estado
- \* Convenios Comerciales de Descuento
- \* Representación y Gestión ante Dependencias de Gobierno
- \* Catálogos de Costos y Precios Unitarios en formato electrónico
- \* Información Estadística, Económica y sobre Normatividad
- \* Trámite de Registro ante el SIEM
- \* Renta de Salones y Aulas para Capacitación
- \* Bolsa de Trabajo
- \* Asistencia Secretarial para Socios Foráneos
- \* Revista En CONCRETO
- \* Línea telefónica sin costo 01 800 400 09 43
- Página web [www.cmicdelegacionchihuahua.org](http://www.cmicdelegacionchihuahua.org)



**Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción**

**Av. Universidad 2739  
Col. San Felipe C.P. 31203  
Tel. 414-62-20  
Chihuahua, Chih.**