

## Como construí la Teoría de la Relatividad

*Albert Einstein*

*Traducción realizada por Orlando Pereyra Ravinez  
de la revista*

*“Association of Asia Pacific Physical Societies: AAPPS Bulletin, Vol. 15 – 2, abril del 2005.*

El siguiente texto es una traducción libre de la charla que dio Albert Einstein el 14 de diciembre de 1922 en la Universidad Imperial de Kyoto. El artículo está basado en las notas en japonés que fueron tomadas por Jun Ishiwara quien estuvo presente en esa charla, la traducción del Japonés al inglés fue realizada por Masahiro Morikawa, de la cual esta presente traducción es originada. Este artículo escrito en primera persona revela algunos pormenores del descubrimiento de Albert Einstein sobre la relatividad especial y general.

Palabras claves: Relatividad especial y general, éter, electrodinámica.

The following subject is a free translation of the talk given by Albert Einstein at December 14 of 1922 in the Imperial Kyoto University. The article is based on the notes in Japanese language which were taken by Jun Ishiwara who was present in this talk. The Japanese to English translation was realized by Masahiro Morikawa, from which the present translation is originated. This article written in the first person reveals some details of the Albert Einstein discoveries about the special and general relativity.

Keywords: Special and general relativity, ether, electrodynamics.

No es una tarea fácil el hablar de la historia completa de cómo obtuve la teoría de la relatividad. Esto es porque existe una diversidad de complejidades que motivan indirectamente el pensamiento humano. No quiero describir el detalle completo del desarrollo de mi teoría, refiriéndome a mis artículos, pero me gustaría simplemente hablar acerca de la esencia del desarrollo de mi pensamiento.

La primera vez que tuve una idea de cómo construir la teoría de la relatividad fue hace diecisiete años. No puedo decirles exactamente de donde vino esa idea, pero es seguro que esa idea surgió de un problema óptico de los cuerpos en movimiento. La luz se propaga en el mar del éter, y la tierra se mueve en el mismo éter. Por lo tanto el movimiento del éter debería ser observado desde la tierra, como un flujo relativo a un observador sobre la tierra. Sin embargo no pude encontrar alguna evidencia experimental sobre el flujo del éter en la literatura de física. Así, tuve el ferviente deseo de probar el flujo del éter relativo a la tierra, en otras palabras, el movimiento de la tierra en el éter. En esos momentos, no tenía duda acerca de la existencia del éter y del movimiento relativo de la tierra respecto del éter. En verdad esperaba una posible detección de la diferencia de velocidades entre dos rayos de luz, uno viajando en el mismo sentido que el movimiento de la tierra y el otro, reflejado por un espejo, viajando en sentido contrario. Mi idea fue usar un par de termocuplas y medir la diferencia en el calor generado por los dos rayos de luz, y calcular la diferencia de energía entre ellos. Esta idea fue similar al experimento de interferencia de Albert Michelson, pero en ese-entonces, yo no estaba familiarizado con los detalles de dicho experimento. Llegue a conocer el extraño resultado nulo del experimento de Michelson cuando era un estudiante y desarrollaba mi idea. Intuitivamente sentí que si uno adopta este resultado nulo, este permitiría establecer que nuestro concepto de la tierra moviéndose en el éter es falso. Este fue el primer paso que me guió hacia el principio de la relatividad especial. Desde entonces he llegado a la conclusión que incluso considerando la tierra girando

alrededor del sol, su movimiento a través del éter nunca podrá ser detectado por los experimentos con rayos de luz.

Tuve la oportunidad, en esa época, de leer el artículo de Hendrik Lorentz escrito en el año 1895. El afirmaba que podría resolver completamente la electrodinámica en primera aproximación, esto es, las potencias de segundo orden o más en la razón de la velocidad del cuerpo a la velocidad de la luz son insignificantes. Entonces intenté desarrollar un argumento similar al del experimento de Armand Fizeau, asumiendo que la ecuación de movimiento del electrón como Lorentz demostró, también se mantiene en el sistema de coordenadas fijo al cuerpo en movimiento, así como aquel fijo al vacío. Yo creía en la validez de la electrodinámica de James Maxwell y Lorentz de modo que sus ecuaciones describen correctamente el mundo actual. Especialmente el hecho que la misma ecuación se mantiene en el sistema de coordenadas en movimiento así como en el vacío, ciertamente nos enseña la invariancia de la velocidad de la luz. Sin embargo esta conclusión entra en conflicto con nuestra familiar ley de composición de velocidades. ¿Por qué esos dos conceptos básicos se contradicen unos a otros? Esta gran antinomia me mantuvo atascado. Pase en vano un año entero explorando la oportunidad de modificar la teoría de Lorentz. El problema me pareció realmente demasiado difícil para mí.

Un día, sucedió que una conversación con uno de mis amigos de Berna me ayudó a resolver este gran problema. Lo visité un día soleado, y le pregunté, “Recientemente he tenido un duro problema el cual nunca podré resolver. Ahora lo traigo conmigo para compartirlo contigo.” Intenté tener varias discusiones con él, y de repente tuve una idea crucial. Al siguiente día, le dije, “muchas gracias, he resuelto completamente nuestro problema”.

Mi idea central para la solución fue acerca del concepto del tiempo. Es decir el tiempo no debería ser definido a priori como la realidad absoluta, en vez de eso, el es firmemente dependiente de la velocidad finita de la señal. Mi difícil problema anormal pudo ser resuelto por este nuevo concepto del tiempo.

Me tomó solo cinco semanas el completar el principio de la relatividad especial, después de superar esta brecha. También no tuve duda de su validez desde un punto de vista filosófico. Especialmente el principio estuvo en concordancia con el principio de Mach, al menos parcialmente si tenemos en cuenta que este, esta en perfecta armonía en el caso de la relatividad general.

La teoría especial de la relatividad fue construida de esta forma.

La primera etapa hacia la teoría de la relatividad general salió dos años después, en 1907, de una manera distinta.

No estuve totalmente satisfecho con la teoría especial de la relatividad, desde que el principio de la relatividad esta limitado a movimientos con velocidad relativa constante por lo que no pueden ser aplicados a movimientos generales. Por lo tanto, siempre mantuve en mi mente este problema, de cómo resolver esta restricción de alguna manera. En 1907 Johannes Stark me pidió que escribiera un artículo acerca de varios resultados sobre la teoría especial de la relatividad en su reporte anual *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*. Cuando estuve listo a escribir el artículo, reconocí que la teoría de la relatividad especial puede ser aplicada con éxito a todos los fenómenos excepto la gravedad, y por lo tanto deseé fuertemente encontrar una forma de aplicar la teoría también a la gravedad. Sin embargo, no pude completar este programa fácilmente. El punto más insatisfactorio fue el hecho que, mientras que la teoría especial de la relatividad da una relación perfecta entre la inercia y la energía, la relación entre la inercia y el peso, i.e. la energía del sistema gravitacional, no se menciona en ningún lado. Sospecho que este problema estaba muy lejos de la teoría especial de la relatividad.

Estando sentado en una silla de la oficina de patentes en Berna, fue cuando una idea maravillosa iluminó mi mente. "Un hombre que cae libremente no podría reconocer su peso". Esta simple idea, me causo realmente una impresión profunda. La emoción salvaje de ese momento me forzó a proceder hacia la teoría de la gravedad. Continué a pensar, "Un hombre cayendo tiene aceleración. Las observaciones de este hombre son realmente hechas desde un sistema acelerado." Decidí extender el principio de la relatividad a sistemas más generales que tienen aceleración finita. También esperé que esta generalización pudiera simultáneamente resolver el problema de la gravedad. Esto es por el hecho que un hombre cayendo no reconoce su peso, lo cual implica otro campo gravitacional que cancela exactamente el campo gravitacional de la tierra. Esto es, cualquier cuerpo acelerado necesita un nuevo campo gravitacional.

Sin embargo, no pude todavía resolver el problema completamente. Me fueron necesarios ocho años para derivar las relaciones reales. Antes de eso, solo pude obtener algunos fundamentos generales que incluyen lo anterior.

Ernst Mach también enfatizó la equivalencia entre los sistemas relativos acelerados. Aparentemente esto no es compatible con nuestra geometría ordinaria. Esto es porque si tales sistemas fueran permitidos, entonces la geometría euclidiana no sería válida en cada uno de ellos. Describir las

leyes físicas sin geometría es como describir los pensamientos sin palabras. Debemos prepara las palabras antes de describir nuestro pensamiento. ¿Qué deberé colocar como fundamento de mi teoría?.

Este problema quedo sin resolver hasta 1912. En este año, Me di cuenta que la teoría de superficies de Karl Friedrich Gauss podría tener una razón profunda para resolver el mencionado misterio. Las coordenadas de superficie de Gauss me llegaron como una herramienta realmente importante. Si embargo, no sabía que Georg Riemann ya había desarrollado los fundamentos profundos de esa teoría. Conseguí mi idea simplemente porque tuve la suerte de recordar la teoría de Gauss dado en una clase por mi profesor de matemática Carl Friedrich Geiser cuando yo era estudiante. Así empecé a creer que la geometría debería tener un significado físico.

Cuando regresé a Zurich de Praga, Me encontré con mi amigo cercano y matemático Marcel Grossmann. El me ayudo con varias referencias matemáticas, Yo no tenia experiencia cuando estuve en la oficina de patentes de Berna. Por primera vez, supe de él del trabajo de Curvatura Ricci y luego el de Riemann. Le pregunte si mi problema podría ser resuelto por la teoría de Riemann, es decir, si la invariancia del elemento de línea es suficiente para determinar todos los coeficientes de mi interés. Entonces en colaboración con el, escribí un artículo en 1913, aunque la ecuación correcta de la gravedad aun no pudo ser derivada en el. Posteriores investigaciones en la teoría de Riemann solo mostraron, desafortunadamente, una abundancia de conclusiones en contra de mis expectativas.

Fueron necesarios que pasaran dos años mientras yo exigía a mis neuronas tratando de resolver el problema. Finalmente, encontré un error en mis cálculos previos. Entonces intente otra vez derivar la ecuación correcta para la gravedad basado en la invariancia de la teoría. Después de dos semanas la respuesta final completa apareció frente a mí.

De mis trabajos posteriores a 1915, Tomaría solamente mi trabajo sobre cosmología. Esta es una investigación sobre la geometría y el tiempo del universo. Es basado en el tratamiento de las condiciones de contorno en la teoría general de la relatividad y en el argumento de Mach sobre la inercia. Aunque no supe que tan definitiva era la idea que tenia Mach sobre la sustancia de inercia relativísticamente general. Estoy seguro que su gran pensamiento fue realmente mi base filosófica.

Intente primeramente establecer las condiciones de contorno para las ecuaciones de la gravedad invariante, y finalmente yo podría incluso quitar el contorno bajo la premisa que el universo es cerrado. Así yo podría resolver con éxito el problema cosmológico. Como resultado, se dedujo que la inercia aparece como una propiedad relativa entre cuerpos materiales y debería desaparecer si no hubieran otros cuerpos que interactúen con el. Creo que esta propiedad decisiva hace de la teoría de la relatividad general satisfactoria aun desde el punto de vista epistemológico.

Aquí me gustaría terminar mi breve historia de cómo construí las bases de la teoría de la relatividad. Muchas gracias.