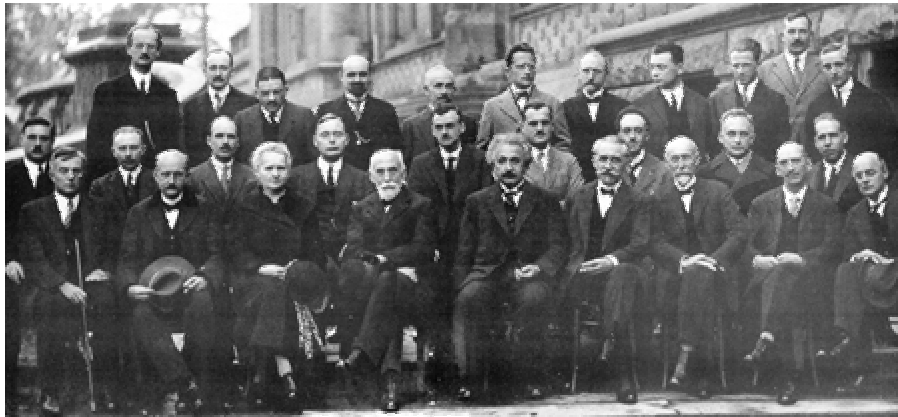


¹Como inventé la Teoría de la Relatividad

Esta traducción de una charla dictada en Kioto el 14 de diciembre de 1922 ilumina el camino seguido por Einstein para alcanzar la teoría de la relatividad y ofrece muchos aspectos de sus trabajos en esa área.

Albert Einstein
Traducida al inglés por Yoshimasa A. Ono[#]



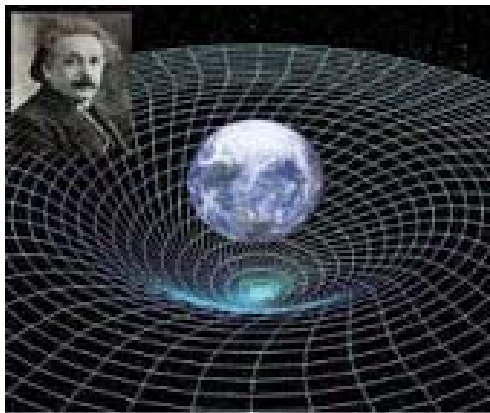
Es un hecho sabido que cuando Albert Einstein fue premiado con el Premio Nobel de física en 1922, no pudo asistir a las ceremonias en Estocolmo en diciembre de ese año pues estaba desde antes comprometido para visitar Japón en la misma fecha. En Japón, Einstein dictó la charla titulada “Como creé la teoría de la relatividad” en la universidad de Kioto el 14 de diciembre de 1922. Fue una charla improvisada para profesores y estudiantes, hecha en respuesta a una petición de K. Nishida profesor de filosofía de la universidad.

Einstein no hizo notas. La charla fue dictada en alemán y traducida simultáneamente al japonés por J. Ishiwara quien había sido alumno de Arnold Sommerfeld y del mismo Einstein de 1912 a 1914 y era profesor de física en la universidad de Tohoku. Ishiwara tomo detalladas notas de la conferencia y las publicó (en japonés) en el periódico japonés mensual *Kaizo* en 1923; tales notas son las únicas existentes de la charla. Recientemente T. Owaga publicó una traducción parcial al inglés en *“Japanese Studies in the History of Science”*.

Lamentablemente ni las notas de Ishiwara ni la traducción de Owaga son accesibles a la comunidad internacional. Sin embargo el recuento del propio Einstein de los orígenes de sus ideas goza claramente de un interés por sí mismo. Por esta razón he preparado una traducción de la charla de Einstein completa a partir de las notas de Ishiwara. Es claro que este recuento de Einstein cierra de algún modo la controversia actual relativa a si él fue guiado por experimento de Michelson-Morley cuando en 1905 propone la teoría especial de relatividad; además muestra una serie de otros aspectos del trabajo de Einstein en relatividad.

-Y. A. Ono

“No es fácil hablar de cómo alcance la idea de la teoría de la relatividad, hay muchas complejidades ocultas que motivaron mi pensamiento. Y el impacto de cada una fue diferente en los diferentes pasos del desarrollo de la idea. No voy a mencionarlos todos aquí, ni tampoco enumeraré los artículos que he escrito sobre el tema, en su lugar describiré el desarrollo de mi pensamiento directamente conectado al tema



Fue hace casi diecisiete años cuando por primera vez tuve una idea en el desarrollo de la relatividad. Aunque no puedo decir exactamente de donde vinieron mis ideas, tengo la certeza de que estaban contenidas en el problema de las propiedades ópticas de los objetos en movimiento. La luz se propaga a través del mar de Eter por el cual se mueve la Tierra. Trate de encontrar evidencias claras del movimiento del Eter respecto a la Tierra en la literatura pero no pude.

Entonces quise verificar el flujo del Eter respecto a la Tierra, o en otras palabras el movimiento de la tierra. La primera vez que pense sobre el problema no dudaba de la existencia del Eter o del movimiento de la Tierra a través de él. Ideé entonces el siguiente experimento usando dos termocuplas: ubicar dos espejos para reflejar la luz de una misma fuente en una dirección paralela al movimiento de la Tierra y otra antiparalela a el, si asumimos que hay una diferencia en la generación de energía entre ambo²s rayos podemos usar las termocuplas para medirla. Aunque es un experimento muy similar al de *Michelson*, nunca trate de llevar a cabo este experimento.

Mientras pensaba sobre el problema en mis años de estudiante, me entere del extraño resultado del experimento de Michelson. Pronto llegue a la conclusión de que nuestras ideas relativas al movimiento del Eter eran incorrectas, si asumíamos el resultado nulo del experimento de Michelson como un hecho. Este fue el primer paso que me llevo a la teoría de la relatividad. Así llegue a la conclusión que el movimiento de la Tierra no puede ser detectado por ningún experimento óptico, aunque la Tierra esta rotando respecto al Sol.

Tuve la oportunidad de leer la monografía de *Lorentz* de 1895. Él discutía y resolvía completamente el problema de la electrodinámica hasta la primera aproximación (a primer orden), es decir despreciando términos de orden superior a v/c , donde v es la velocidad del objeto en movimiento y c la velocidad de la luz en el vacío. Entonces trate de discutir el experimento de Fizeau bajo el supuesto de que las ecuaciones de Lorentz debieran ser validas tanto en el sistema de referencia del objeto en movimiento como en el sistema de referencia en el vacío como lo hizo originalmente Lorentz. Para entonces yo estaba ya firmemente convencido de la validez de la teoría electrodinámica de Maxwell-Lorentz. Además el supuesto de que esas ecuaciones debieran ser validas en el sistema de referencia del móvil llevaba al concepto de invariancia de la velocidad de la luz, el cual contradecía la ley de adición de velocidades usado en mecánica.

¿Por qué esos dos conceptos se contradecían? Me di cuenta que esta dificultad era muy complicada de resolver. Gaste casi un año tratando de modificar la idea de Lorentz con la esperanza de resolver este problema.

Por casualidad un amigo mío en Bern (*Michelle Besso*) me ayudo. Era un día hermoso aquel en el que lo fui a visitar con este problema. Comencé mi conversación con el del siguiente modo: “Últimamente he estado trabajando en un problema difícil. Hoy vine a combatir contra el junto a usted.” Discutimos cada aspecto del problema. Entonces rápidamente comprendí donde yacía la

clave para este problema. Al otro día volví a visitarlo y, sin siquiera saludar, le dije: “Gracias, He resuelto completamente el problema.” Un análisis del concepto de tiempo fue mi solución. El tiempo no puede definirse en forma absoluta, y hay una relación indisoluble entre tiempo y velocidad de propagación de una señal. Con este concepto nuevo pude resolver todas las dificultades completamente por primera vez.

Dentro de cinco semanas la teoría especial de la relatividad estaba completa. No tenía ninguna duda de que la teoría era razonable desde un punto de vista filosófico. También encontré que la nueva teoría está de acuerdo con el argumento de Mach. En oposición a la teoría general de la relatividad, en la cual el principio de Mach fue incorporado a la teoría, el principio de Mach tiene (solo) implicaciones indirectas sobre la teoría especial.

Así fue como se creó la teoría especial de la relatividad.

Mis primeras ideas sobre la teoría general fueron concebidas dos años después, en 1907. La idea ocurrió repentinamente. Estaba insatisfecho con la teoría especial pues esta estaba restringida a sistemas de referencia en moviéndose con velocidades constantes el uno respecto del otro y no podía aplicarse al movimiento general de dos sistemas de referencia. Me esforcé en intentar resolver esta restricción y quería formular el problema en el caso general.

En 1907 *Johannes Stark* me pidió que escribiera una monografía sobre la teoría especial de la relatividad para la revista *Jahrbuch der Radioaktivitat*. Mientras lo escribía llegué a darme cuenta que todas las leyes naturales podían ser discutidas dentro del marco dado por la teoría especial de la relatividad, salvo la ley de gravedad. Quise encontrar las razones de esto pero no pude dar con este objetivo fácilmente.

El aspecto más insatisfactorio del problema era el siguiente: Aunque la relación entre inercia y energía estaba dada explícitamente en la teoría especial de la relatividad, la relación entre inercia y peso, o entre energía y campo gravitacional, no estaba claramente dilucidada. Sentía que este problema no podía ser resuelto desde la teoría especial de la relatividad.

Un día, la respuesta apareció surgió repentinamente. Estaba sentado en mi escritorio de la oficina de patentes en Bern. De pronto un pensamiento se me presentó: si un hombre cae libremente, no siente su peso. Estaba desconcertado. Este simple experimento pensado me causó una gran impresión. Él me llevó a una teoría de la gravedad. Continué mi pensamiento: Un hombre cayendo está acelerando. Luego lo que él siente y juzga es referido a un sistema acelerado. Decidí extender la teoría de la relatividad a sistemas acelerados. Sentía que haciendo esto estaría resolviendo el problema de la gravedad simultáneamente. Un hombre cayendo no siente su peso porque en su sistema de referencia aparece un nuevo campo gravitatorio que cancela al campo debido a la Tierra. En el sistema acelerado necesitamos un nuevo campo gravitatorio.

No pude resolver el problema en forma completa inmediatamente. Me tomé ocho años antes de obtener la solución completa. Durante esos años obtuve respuestas parciales al problema.

Ernst Mach fue una persona que insistía en la idea que los sistemas relativamente acelerados eran equivalentes. Esta idea contradice la geometría Euclidiana, pues en el sistema acelerado la geometría Euclidiana no puede aplicarse. Describir las leyes físicas sin usar geometría es como intentar expresar nuestras ideas sin palabras. Necesitamos de las palabras para poder expresarnos. ¿Cómo podríamos expresar nuestro problema? No fue hasta 1912 cuando este problema fue resuelto, cuando descubrí que la teoría de superficies de *Karl Friedrich Gauss* podía ser la clave del misterio. Encontré que las coordenadas de superficie de Gauss podían esconder algún significado para este problema. Entonces no sabía que *Bernhard Riemann* (quien había sido alumno de Gauss) había discutido los fundamentos de la geometría en profundidad. Casualmente recordé las clases de geometría en mis años de estudiante (en Zurich) en manos de *Carl Friedrich Geiser* donde discutía la teoría de Gauss. Descubrí que los fundamentos de geometría poseían un profundo significado físico para este problema.

Cuando volví de Praga a Zurich, mi amigo el matemático *Marcel Grossman* estaba esperándome. Él me había ayudado antes abasteciéndome con la literatura matemática cuando yo trabajaba en la oficina de patentes en Bern ⁴y tenía algunas dificultades para obtener artículos matemáticos. Primero me enseñó el trabajo de *Curvatura Gregorio Ricci* y después el trabajo de Riemann. Discutí con él respecto a si el uso de la teoría de Riemann, o en otras palabras el uso del concepto de invariancia de los elementos de línea, podía resolver el problema. Escribimos un artículo al respecto en 1913, aunque no pudimos dar con las ecuaciones correctas para la gravedad. Estudie las ecuaciones de Riemann en detalle solo para encontrar los motivos por los cuales no pudimos hallar el resultado deseado de este modo.

Tras dos años de esfuerzo, descubrí que había cometido errores en mis cálculos. Volví a la ecuación original usando la teoría de invariancia y trate de construir las ecuaciones correctas. ¡En dos semanas las ecuaciones correctas aparecieron frente a mí!

Respecto a mi trabajo posterior a 1915, me gustaría mencionar solo el problema de la cosmología. Este problema dice relación con la geometría del universo y el tiempo. Los fundamentos de este problema provienen de las condiciones de borde de la teoría general de la relatividad y la discusión del problema de la inercia de Mach. Aunque no entendí exactamente las ideas de Mach respecto a la inercia, estas tuvieron gran influencia en mi pensamiento.

Resolví el problema de la cosmología imponiendo invariancia sobre las condiciones de borde para las ecuaciones de gravedad. Finalmente elimine los bordes imponiendo un universo cerrado. Como resultado la inercia surge como una propiedad de la materia interactuante y esta no ⁵debiera existir si no hubiera otra materia para interactuar. Creo que con este resultado la teoría general de la relatividad puede ser satisfactoriamente entendida desde un punto de vista epistemológico.⁶

Este es un breve viaje histórico por mis pensamientos en la creación de la teoría de la relatividad”.

^{i#} Artículo aparecido en **Physics Today**, Agosto 1982. Traducción **Alvaro Núñez**