

Relatividad general; su presencia temprana en México

M.A. Moreno Corral

*Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Ensenada,
Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, 22860 Ensenada, Baja California, México,
e-mail: mam@astro.unam.mx*

Received 1 August 2016; accepted 19 September 2016

Una de las teorías más importantes de la Física Moderna es sin duda la de la Relatividad General, desarrollada por Albert Einstein durante varios años y presentada en su forma definitiva en 1916. A un siglo de su aparición y ante la vigencia que ha tomado ultimamente por sus espectaculares aplicaciones en Cosmología, es relevante saber cuándo y por quién fue presentada y discutida en nuestro país por primera vez y cuál fue la profundidad con la que se explicó. El presente trabajo se ocupa de ello, comentando el primer libro que sobre esa disciplina fue escrito y publicado en México.

Descriptores: Relatividad general; historia de la física en México.

One of the most important theories in Modern Physics is certainly that of General Relativity, developed by Albert Einstein for several years and presented in its final form in 1916. A century after its appearance and because of the recently in importance it has taken Cosmology's spectacular applications, it is relevant to know when and by whom it was presented and discussed in our country for the first time and what was the depth in which it was explained. This paper deals with it, comments the first book written and published in General Relativity in Mexico.

Keywords: General relativity; history of physics in Mexico.

PACS: 01.65.+g; 95.90.+v

Introducción

En noviembre de 1915, Albert Einstein presentó ante la Academia Prusiana de Ciencias el trabajo “Die Feldgleichungen der Gravitation” (Ecuaciones de Campo de la Gravitación), donde en cuatro páginas, discutió los fundamentos de su teoría gravitacional. En 1916 publicó en los *Annalen der Physik* una versión final [1] bajo el título de “Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie” (El fundamento de la Teoría de la Relatividad General), en el que analizó la forma en que la densidad local de materia y energía, determinan la geometría del espacio-tiempo. Eran tiempos de la Primera Guerra Mundial y la información científica no circulaba libremente, sin embargo Willen de Sitter, Arthur Eddington, Hendrik Lorentz y Paul Ehrenfest entre otros notables físicos europeos, dieron a conocer las nuevas ideas de Einstein a través de diversos medios [2]. Concluido aquel conflicto esa teoría recibió un fuerte apoyo, debido principalmente a los resultados que Dyson, Eddington y Davidson obtuvieron del estudio del eclipse total de Sol de mayo de 1919, que mostraron que los rayos luminosos provenientes de las estrellas, eran desviados en la cercanía del limbo solar por una cantidad angular como la predicha por Einstein [3], lo que lo catapultó a la fama e hizo de esa teoría algo que interesó incluso al gran público [4]. Físicos tan importantes como Born, Dirac y Schrödinger calificaron a la Relatividad General de logro del intelecto. Incluso Lorentz, que en 1905 había cuestionado la Relatividad Restringida, aceptó y difundió la nueva teoría [5]. En la década de 1920 tuvo gran difusión a través de muy diversos medios, pues no solamente en el mundo académico fue tratada en congresos, artículos y libros, sino que también

la prensa de diferentes países se ocupó de ella [6]. Sin duda factores sociológicos, políticos e intereses personales jugaron importantes papeles en el proceso de aceptación de esta teoría [7], así que su difusión fue diferente en distintas naciones [8]. A cien años de la presentación formal de esa importante teoría física, en este 2016 se están llevando a cabo a lo largo y ancho del planeta, diversas actividades para conmemorar tan importante logro del intelecto humano [9], y no queriendo ser ajenos a ese proceso, en este trabajo se hará referencia al primer texto publicado en México sobre la Teoría General de la Relatividad.

Primeras publicaciones mexicanas que difundieron la Relatividad

En la década de 1920, que es en la que se sitúa este estudio, México no contaba con instituciones que realizaran investigación formal en Física, sin embargo sí hubo mexicanos interesados en comprender y difundir las ideas relativistas [10]. Fueron principalmente ingenieros de diferentes especialidades que se involucraron con esa ciencia a través de su práctica profesional, pero sobre todo se ocuparon de esa disciplina al convertirse en profesores de enseñanza media y media-superior en el área de ciencias exactas. Tal fue el caso de Sotero Prieto [11], quien en 1921 y 1923 publicó artículos sobre “La teoría de la relatividad”, que vieron la luz en *El Maestro*, revista de carácter general que cubría temas variados de la cultura, por lo que esos escritos trataron aquella teoría, solamente desde la perspectiva informativa [12]. Aunque menos extensos pero con el mismo enfoque, fueron dos artículos que llevaron igual título que los de Sotero; uno pu-

blicado por Miguel Bustamante en 1921 [13] y el otro por el profesor Elpidio López en 1922 [14]. Diferente fue el caso de tres trabajos de investigación que publicó el notable físico mexicano Manuel Sandoval Vallarta, quien en varios números de las *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate* se ocupó de “La teoría relativista de la estructura fina de las rayas espectrales”(1924); “Sobre la teoría relativista de la mecánica ondulatoria”(1927) e “Investigación sobre la relación entre la teoría del quantum y la teoría de la relatividad”(1931) [15]. También el futuro fundador y primer director de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, el ingeniero Ricardo Mónges López, se ocupó en aquella década de las ideas de Einstein, aunque lo hizo desde una perspectiva más bien filosófica al publicar en 1926 un “Breve Estudio acerca de los fundamentos filosóficos de la teoría de la relatividad de Einstein”[16].

En esta primera etapa de la recepción de la física relativista en México, jugó un importante papel la Sociedad Científica Antonio Alzate, que fundada en 1884 para “cultivar las ciencias matemáticas, físicas y naturales, en todos sus ramos y aplicaciones, principalmente en lo que se relaciona con el país”, contó entre sus miembros algunos de los personajes más destacados de la cultura mexicana de la primera parte del siglo XX. La importancia que esta organización tuvo en el temprano desarrollo de la ciencia en México y en particular en el de la Física, ha sido estudiado por Gallardo Pérez, Lozano Mejía y Ramos Lara en un bien documentado artículo [17]. En cuanto al tema específico que aquí se trata, Ramos Lara ha hecho notar el papel que esta academia tuvo en la difusión temprana de las ideas relativistas en nuestra nación [18]. Igualmente el ambiente cultural y académico en que se hallaban inmersos los mexicanos que escribieron sobre esta teoría, ha sido descrito adecuadamente por la misma autora en un artículo que se ocupó precisamente de la recepción de la Relatividad en México [19], así que en aras de la brevedad, remitimos a los lectores interesados a esos trabajos y a las referencias que citan, solamente insistiremos que la llegada de los conceptos relativistas a nuestro país no ocurrió en un vacío científico, pues si bien eran pocos, sí hubo mexicanos con la preparación para entenderlos. Para completar esa información, debe puntualizarse que la única institución mexicana que por aquellas fechas estaba de alguna manera involucrada con investigaciones regulares en ciencias exactas, particularmente con disciplinas como la Astronomía y la Astrofísica, era el Observatorio Astronómico Nacional, entonces ubicado en las afueras de la Ciudad de México en la población de Tacubaya [20]. En sus instalaciones contaba con una muy bien surtida biblioteca con modernos textos sobre Astronomía, Física, Matemáticas y disciplinas afines, que habían llegado a ella por compra, intercambio o por haber sido traídos por los astrónomos en sus viajes internacionales. Entre la extensa variedad de libros ahí existentes, había unos cuantos que se ocupaban de la física relativista, varios de los cuales fueron consultados por algunos de los personajes que se han mencionado en el párrafo anterior, pues así lo indican los textos que publicaron. Aquellos libros se encuentran

actualmente resguardados en el acervo antiguo de la biblioteca del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México en Ciudad Universitaria, heredero directo de aquel antiguo observatorio. Entre esos libros deben mencionarse *Space, Time and Gravitation an outline of the General Relativity Theory* de Arthur S. Eddington (Cambridge University Press, 1920), uno de los astrofísicos más notables de la primera mitad del siglo XX, quien directamente se involucró con la Relatividad. También ahí se hallaba el texto *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* de Erwin Freundlich, publicado originalmente en alemán en 1916 y traducido al español en 1922. Igualmente en ese biblioteca se encontraban *La Théorie de la Relativité et ses applications a L'Astronomie* de Émile Picard (París, 1922), así como *Les Théories D'Einstein* de Lucien Fabre (París, 1922), obras que sirvieron para que los mexicanos entraran en contacto con las ideas relativistas. Es importante mencionar que algunos de esos textos, también existieron en la bien surtida biblioteca de la Sociedad Científica Antonio Alzate [21].

Primer libro mexicano sobre Relatividad

Un texto del que nos ocuparemos ahora, que también formó parte de los libros de aquella biblioteca, fue el que entre 1921 y 1922 escribió el ingeniero mexicano Juan Mateos con el título *Explicación elemental de las Teorías de Einstein sobre la Relatividad y la Gravitación*, publicado en 1923 por la Imprenta de la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, instalada en el edificio que ocupaba el Observatorio Astronómico Nacional en Tacubaya, fundada en 1915 y que por su labor editorial, contribuyó a difundir los esfuerzos científicos que entonces se hacían en este país [22]. Esta obra fue el primer volumen de la Biblioteca Mexicana de Difusión Científica, que coordinó otro notable personaje, el ingeniero Agustín Aragón, quien en la presentación de ese libro declaraba “la necesidad de difundir ciertos conocimientos en México y de las ventajas de efectuarlo desde el punto de vista de los inestimables bienes que recibe toda sociedad cuando a ella se presentan de forma clara y concisa, las luces de las verdades demostrables. He aquí la génesis de la biblioteca que hoy se inaugura y a la que da principio para predicar con el ejemplo y con la palabra un tomo importantísimo del propio señor Mateos”.

Este libro, prácticamente desconocido en la actualidad [23], dista mucho de ser un texto elemental, tal y como lo hizo notar Lozano Mejía cuando escribió: “Volviendo al libro de la relatividad de Juan Mateos, no es tan elemental como parece indicar su título. En efecto, el libro fue escrito, según dice el autor, más de un año antes de su publicación, esto es, en 1921 o 1922. Para esas fechas, eran muy pocas las personas que conocían lo que en esa época era llamado cálculo diferencial absoluto y luego se llamó cálculo tensorial. En consecuencia, un libro que maneja ampliamente y con soltura unas matemáticas que, definitivamente, no eran elementales en esos años y que, aún ahora, sólo conocen bien (eso espero) los físicos, los matemáticos y una parte de los ingenieros, no

era tan accesible como su autor manifiesta en su advertencia al principio de la obra. Por otra parte, la física que maneja Mateos no era del conocimiento generalizado, aunque indudablemente sí había ingenieros que podían leer con interés y provecho el libro”[24].

No se sabe el tiraje de este libro, pero debió ser pequeño, pues en verdad es desconocido actualmente. Se le ha buscado en las bibliotecas públicas más importantes del país y no se han hallado ejemplares. La *Bibliografía Astronómica Mexicana (1557-1935)* de Juan B. Iguíniz aunque menciona otros dos trabajos astronómicos escritos por Juan Mateos, nada indica sobre este texto. Al momento de esta investigación, solamente se han ubicado dos ejemplares; uno en el Acervo Antiguo de la Biblioteca del Instituto de Astronomía y otro en la de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, ambas dependencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se sabe que en la biblioteca de la antigua Sociedad Científica Antonio Alzate existió un ejemplar [25], pero al transformarse esa organización en la actual Academia Mexicana de Ciencias, nada más se ha podido establecer sobre el destino que tuvo aquel libro. El otro que se conoce, es el que el autor de este trabajo halló de forma casual en uno de los comercios de libros usados del Centro Histórico de la capital del país. Por otra parte, las únicas referencias que se han encontrado a este libro, es la ya citada de Lozano Mejía y la que Ramos Lara hizo en [25] para indicar la pertenencia de Juan Mateos a la Academia Científica Antonio Alzate. Incluso aquellos trabajos que se ocuparon de la Relatividad en nuestra nación y que fueron publicados después que se imprimió el de Mateos, no lo mencionan [26]. Lo mismo sucede con trabajos más recientes como el texto *Gravitación (Teoría General de la Relatividad)* de Antonio Sarmiento Galán [27], o el capítulo sobre Gravitación y Cosmología de Alfredo Macías y Octavio Obregón [28], que incluye una sección titulada *La relatividad y la gravitación en México*.

Sobre el autor de la *Explicación elemental*...

Antes de tratar el contenido de la obra que aquí nos ocupa, diremos algo sobre su autor; un mexicano muy poco conocido de la segunda mitad del siglo XIX y primera del XX. Los pocos datos que sobre él se conocen, se hallan dispersos en diferentes fuentes, que es donde los hemos tomado. Juan Mateos nació en la Ciudad de México en 1868, en un momento en que se hacían grandes esfuerzos por modernizar el sistema educativo del país y se introducía una nueva filosofía; el Positivismo [29]. Después de sus estudios básicos, ingresó a la Escuela Nacional Preparatoria, donde pronto llamaron su atención las ciencias exactas, que de acuerdo a las ideas de esa corriente filosófica ahí imperantes, eran la base de la pirámide del conocimiento. Como estudiante preparatoriano debió destacar, ya que en él recayó el honor de dar el discurso alusivo a la Independencia de México, que pronunció en esa institución el 15 de septiembre de 1883 [30]. Pasó luego a la Escuela Nacional de Ingenieros, que en aque-

llas fechas experimentaba importantes cambios en su estructura académica, al tiempo que sus alumnos se habían radicalizado, oponiéndose a la negociación de la deuda externa mexicana con Inglaterra, así como a las nuevas disposiciones que en torno a la actividad minera estaba implementando el gobierno [31]. En ese ambiente Mateos cursó diferentes asignaturas, entre las que por sus actividades posteriores como difusor de la ciencia, deben destacarse las de matemáticas, que incluyeron Álgebra Superior, Geometría Analítica y Cálculo Trascendente [32], que en realidad era lo que ahora se conoce como Cálculo Diferencial e Integral. Al finalizar 1886, encontramos a Juan Mateos como uno de los 43 alumnos de aquella escuela que solicitaron por escrito ante las autoridades educativas, se ampliara el plazo para presentar los exámenes correspondientes a las distintas materias que habían cursado durante aquel año, pues por causas ajenas a ellos, los cursos habían sufrido retrasos [33]. En cuanto a la astronomía y la física que cursó, se conoce con detalle el programa de esas disciplinas que en 1887 dictó el profesor Ángel Anguiano, quien en aquel momento era director del Observatorio Astronómico Nacional. Además de conceptos astronómicos básicos como los sistemas de coordenadas en la esfera celeste y las magnitudes estelares, vieron fotometría y espectroscopía del Sol y de las estrellas, física solar, Leyes de Kepler y de Newton. Pero esta parte del curso realmente no fue introductoria, pues tuvieron que estudiar problemas como el de la Integración de las ecuaciones diferenciales de movimiento, el de la órbitas perturbadas, así como los métodos de Laplace y de Olbers para calcular los elementos de órbitas planetarias y de los cometas. El nivel con el que los alumnos estudiaban esas materias era alto. Así lo indica el plan de trabajo que presentó Anguiano para ese curso, donde señaló explícitamente que estaría a la altura del de “Astronomía en la Escuela Politécnica de París”[34]. Los cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros eran entonces anuales y según el mismo profesor escribió, el suyo constaría de cien lecciones, por lo que los cursantes podrían aprovecharlo bien y obtener una preparación adecuada en esas disciplinas.

Según muestran sus publicaciones posteriores, Mateos debió ser un personaje polifacético, al menos en cuanto a su profesión y en lo que se refiere a los cursos que impartió, pues así lo indica la información que se ha logrado reunir sobre él, ya que en aquella escuela cursó varias de las carreras ahí impartidas, obteniendo los títulos de Ingeniero en Caminos, Puentes y Canales en 1889 y el de Ingeniero Geógrafo en 1891 [35]. Para hacerlo, tuvo que sujetarse a exámenes orales hechos por especialistas de esas disciplinas, así como escribir memorias “crítico-científicas” sobre los trabajos que realizó durante los periodos de prácticas profesionales que tuvo en cada uno de esos campos de la ingeniería. Por otra parte, en la Escuela Nacional de Ingenieros impartió cátedras como Matemáticas Superiores, Geodesia, Astronomía, Teoría de Errores, Hidráulica, Mecánica Analítica y Procedimientos de construcción. A lo largo de su actividad profesional publicó artículos sobre varios de estos temas, como por ejemplo la “Nota sobre un medio rápido y fácil para calcular

y dibujar una proyección de la esfera celeste sobre el horizonte” (1932), así como los textos *Métodos astronómicos de sencilla aplicación para uso de los topógrafos y exploradores* (1899); el *Tratado elemental de Trigonometría Rectilínea y Esférica* (1909); la *Teoría de los Errores y Cálculo de Probabilidades* (1912); *Apunte histórico descriptivo del Valle de México y breve descripción de la obra de su desagüe* (1923); el *Compendio de los fenómenos de la radiactividad y nociones sobre constitución de la materia* (1932) y *El movimiento del mar. Estudio sobre física del globo* (1946) [36]. A edad muy temprana formó parte del personal del Observatorio Astronómico Central fundado en 1877, que estuvo localizado en lo alto del Palacio Nacional [37] y cuya función principal fue la determinación de la hora exacta. En la época en que Mateos laboró ahí, el trabajo de mayor importancia de esa institución fue el intercambio de señales telegráficas con los miembros de la Comisión Mexicana de Límites, que en 1883 se encargaron de la reposición y rectificación de las mojoneras situadas en los puntos que marcan la línea divisoria entre México y los Estados Unidos [38]. También trabajó en el Ministerio de Fomento y fue miembro de diferentes agrupaciones técnicas y científicas como la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística; la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de México y la Sociedad Científica Antonio Alzate, así como de la Sociedad Astronómica de México, organización de aficionados a la ciencia astronómica fundada en 1902 para difundirla entre la sociedad mexicana. Toda esta actividad muestra a un personaje interesado en la ciencia y particularmente en las ciencias físico-matemáticas, así que en base a todas esas actividades no debe extrañar que se halla interesado en la Teoría de la Relatividad; una teoría que en su tiempo fue toda una novedad científica, que cuestionaba paradigmas surgidos con la física newtoniana, que la hizo trascender incluso al gran público.

Su conocimiento de las ideas einstenianas debió obtenerlo a partir de lecturas de textos como los que se han citado pertenecientes a las bibliotecas del Observatorio Astronómico Nacional, o bien de la Sociedad Alzate, ya que en la bibliografía que incluyó en su libro, mencionó explícitamente varias de aquellas obras. También parece haber discutido el tema con algunos de los mexicanos que escribieron sobre Relatividad en esa época. De manera especial se refirió a los trabajos de Sotero Prieto, haciéndolo en forma elogiosa. La fecha de fallecimiento del ingeniero Mateos se desconoce, pero debió ocurrir después de 1946, que fue cuando publicó su último libro.

El texto

Explicación elemental de las teorías de Einstein sobre la Relatividad y la Gravitación del ingeniero Juan Mateos, es un libro que fue publicado en la Ciudad de México en 1923, aunque su autor afirmó haberlo escrito un par de años antes. Como es el primer texto mexicano que se ocupó de ese tema con un nivel de complejidad más allá del mero comentario, consideramos importante, sobre todo para los lectores de una

revista especializada en física como es ésta, resumir los temas que fueron tratados en esa obra. El libro está dividido en cuatro partes y lo forman 161 páginas, en las que el autor presentó las ideas y el formalismo matemático necesario para la comprensión de las Teorías Especial y General de la Relatividad. La parte primera titulada *El Éter y la Luz*, consta de los siguientes apartados. El éter; Ondulaciones del éter; Analogía entre la electricidad y el magnetismo; Relación entre la electricidad y la luz; Origen eléctrico de la luz; Las ondas del éter; Naturaleza eléctrica de la materia; Propiedades eléctricas del éter; Aberración; Hipótesis de Fresnel; Experimento de Fizeau; Experimento de Michelson y Morley; Resumen; Contracción de Lorentz y Fitz Gerald; Velocidad crítica de los cuerpos y Paradoja de la velocidad de la luz.

Como puede apreciarse de este temario, esa parte del libro de Mateos está dedicada a aspectos de la física clásica que al término del siglo XIX estaban en conflicto con lo que establecían los experimentos. Habla así de la razón histórica para considerar la existencia del éter como un fluido perfecto, sutil, imponderable, que llena por completo el espacio y que sirve de soporte para la propagación de los rayos luminícos. Se refiere también a los fenómenos eléctricos y magnéticos y a su indudable relación. Se ocupa de los electrones que consideró “como excitador de la vibración luminosa”. En el contexto de los problemas que presentaba la idea del éter, se ocupó del fenómeno de aberración de la luz y de los experimentos de Fresnel, de Fizeau y de Michelson y Morley. En el caso de este último, hizo una extensa discusión e introdujo el formulismo matemático correspondiente. Al cometer lo que se obtuvo con aquellos experimentos, Mateos escribió que “resultados tan extraños y tan contradictorios a la razón hacen pensar que tal vez no existe el éter”. Tras esa conclusión, se ocupó de la contracción de Lorentz y Fitz Gerald, mostrando como hicieron esos investigadores, que la longitud de cualquier objeto en movimiento se contrae precisamente en la dirección en que se mueve y lo hace por una cantidad que se expresa mediante el factor $\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$, donde v es la velocidad de movimiento del cuerpo en cuestión y c es la velocidad de la luz. El análisis que Mateos hizo de ese fenómeno, le permitió resaltar que esa expresión “indica que los cuerpos materiales no pueden moverse con velocidad mayor que la de la luz”.

En la segunda parte de este olvidado libro mexicano Mateos trató específicamente de la *Teoría Especial de la Relatividad*. Ahí incluyó las siguientes secciones: Transformaciones de Lorentz, donde se ocupó del formulismo matemático correspondiente. Consecuencias; donde discutió lo que significa la contracción de la distancia y del tiempo. Comprobaciones; Ideas de Einstein; donde nuestro autor se refirió al espacio y el tiempo como conceptos relativos. A continuación se ocupó del Principio de Relatividad; de la Noción de Simultaneidad; de la Relatividad de las Ideas de Distancia y Tiempo; de la Conciliación de los Postulados; de la Justificación de la Teoría; Puntos-Sucesos (eventos en la terminología relativista actual); Continuo de Minkowski; Cantidad de Movimiento; Masa; Energía; Identidad de la Masa y la Energía, tratan-

do entonces la equivalencia relativista entre esas dos cantidades físicas; Experimento de Kaufmann; Método de Bucherer, concluyendo esa sección con la Definición de Acción.

En esta parte escribió que Einstein, considerando sus propios conceptos espacio-temporales, postuló el Principio de Relatividad expresado de la siguiente forma. “*Todos los fenómenos de la naturaleza se realizan exactamente según las mismas leyes generales con respecto a un sistema de ejes S , que con respecto a otro sistema S' , siempre que entre ellos exista un movimiento relativo uniforme de traslación*”. También aquí Mateos trató el espacio-tiempo cuadrimensional de Minkowski, discutiendo algunas de sus propiedades, como las de la métrica $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$, que representa la geodésica o trayectoria seguida en el espacio por los rayos luminosos. A continuación tomando en cuenta esa métrica y las transformaciones de Lorentz, analizó el comportamiento de la cantidad de movimiento, la masa y la energía en la Teoría de la Relatividad Especial, estableciendo las ecuaciones correspondientes. Para el caso de esta última cantidad física, formuló la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$, que discutió al tratar la equivalencia entre la masa y la energía. La tercera parte del libro versa sobre la *Teoría General de la Relatividad*. Comienza considerando las Propiedades Universales de la Materia, para luego ocuparse de la Fuerza Centrífuga; Experimento de Eötvös; Inconstancia en la velocidad de la luz. Se ocupa entonces de la proporcionalidad entre la masa inercial y la gravitacional, lo que lleva a la Generalización del Principio de Relatividad, enunciado de la siguiente forma: “*Todos los sistemas de referencia, cualquiera que sea su estado de movimiento, son equivalentes para formular las leyes generales de la naturaleza*”. Continúa con los Efectos de un Cambio de Ejes, donde analiza los sistemas de referencia. Luego viene el Principio de Equivalencia, que Mateos enuncia diciendo que “*Un cambio de sistema o una transformación de coordenadas provoca la aparición o la destrucción de un campo de fuerza que no puede distinguirse de un campo real*”.

Mateos habló después de Campos de Fuerza y Formas del Espacio. Con ejemplos, mostró que si un cambio de sistema de referencia corresponde a una deformación del espacio o a la modificación de un campo de fuerzas, se deduce que las variaciones de esos campos y las diversas formas del espacio están relacionadas. Esta discusión lleva a establecer el Principio de la Exacta Correspondencia; y a hablar de las Observaciones Físicas, llegando así a establecer el Principio General de la Relatividad, que expresa diciendo que “*Todos los sistemas de referencia galileanos o no, son equivalentes para la expresión de las leyes generales de la naturaleza*”. Siguen luego la Fórmula más general de la separación, donde introduce el Tensor Galileano y trata las Coordenadas de Gauss; la Ley de Propagación de la Luz; el Efecto de la Gravitación en la Velocidad de la Luz y Líneas Geodésicas del Mundo, luego habla de la Extensión de las propiedades del mundo galileano y discute varias propiedades, que le permiten llegar al significado del Tensor a_{pq} y al Principio General de la Relatividad.

La parte final del libro, que Mateos tituló *Teoría de la Gravitación*, le sirvió para tratar Sobre algunas conclusiones de Geometría de Riemann [sic], para ocuparse luego del Problema de la Gravitación; del Punto de partida de la solución; 1^{er} caso. Campo libre de Gravitación; 2^o caso. Campo Exterior a la Materia, donde se ocupó de las Ecuaciones de Newton; 3^{er} caso. Campo en el Interior de la Materia. A continuación discute el Campo de Gravitación del Sol; Movimiento de un Planeta; Caso de Mercurio; Desviación de los Rayos Luminosos. El texto concluye con la Prueba Experimental y con Dislocación [sic] de las Rayas Espectrales.

En esta última sección, Mateos, para ayudar a comprender propiedades del espacio-tiempo, introdujo la geometría de las superficies curvas de Riemann, así como los símbolos de Christoffel B_{kl}^i , que utilizó para establecer las propiedades del tensor de Riemann-Christoffel, o tensor de curvatura. Habló de las pruebas observacionales que en aquellas fechas se mencionaban para validar la Teoría General de la Relatividad; el corrimiento del perihelio del planeta Mercurio; la desviación de la trayectoria de los rayos luminosos en presencia de un campo gravitacional intenso y el corrimiento de la longitud de onda de la luz emitida por un átomo inmerso en un campo gravitacional. También se ocupó de desarrollar las ecuaciones necesarias, que aplicó al caso de Mercurio, mostrando que el corrimiento que sufre su perihelio o punto de máximo acercamiento al Sol, es de 43.1 segundos de arco por siglo, mientras que del análisis de la trayectoria de un rayo luminoso que pasa rozante al limbo solar, mostró que sufre una desviación angular $w = 1.74$ segundos de arco. En cuanto al corrimiento de la longitud de onda hacia el rojo de la luz emitida por un átomo presente en un campo gravitacional -que Mateos llamó dislocación de las rayas espectrales- hizo la discusión y el cálculo correspondiente. Supuso un átomo en la fotosfera solar y otro en la Tierra y mostró que por la acción del intenso campo gravitacional de nuestra estrella, se produce en aquel átomo un corrimiento en su longitud de onda de 0.008 \AA , que fue la predicción hecha por Einstein, según la ecuación relativista que relaciona la longitud de onda con su corrimiento $(\Delta\lambda/\lambda) = 2.12 \times 10^{-6}$. Al mostrar cómo hacer esos cálculos, Mateos explicó bien los tres famosos experimentos que Einstein mencionó como pruebas para la Relatividad General, mostrando así que entendía bien la importancia que tenían para validarla, además de que se hallaba enterado de lo que se estaba haciendo para probar experimentalmente esa teoría. En el caso de la medición de la deflexión causada a los rayos luminosos por la presencia de un campo gravitacional intenso, que fue el experimento que le dio notoriedad a Einstein y llevó su teoría a niveles de gran popularidad, mencionó lo que los astrónomos ingleses encabezados por Frank Watson Dyson y Arthur Eddington habían hecho recientemente para medir esa desviación de la luz estelar al pasar rozante al limbo solar durante el eclipse total de Sol del 29 de mayo de 1919 [39], comentando con amplitud el experimento mismo y los valores que habían obtenido.

Evidentemente la obra de Mateos no fue original en el sentido que era una compilación de lo que entonces se había

escrito sobre el tema, pero tuvo la virtud de resumir las ideas principales y mostrar la matemática necesaria para comprender adecuadamente la física relativista. Nuestro autor reconoció que en su tiempo y en su medio había autores nacionales que publicaron artículos sobre la Relatividad con anterioridad a él, así como textos extranjeros sobre el mismo tema, que juzgaba superiores a su trabajo, pero escribió que “había advertido, además, que todas esas obras daban preferencia marcada, algunas casi exclusiva a la teoría especial de la Relatividad, y dejaban apenas desflorada la más moderna y mucho más importante: la General. Teoría que famosa por las dificultades y la complicación, quizá más aparente que real, de su desarrollo matemático, es, sin embargo, susceptible en su parte fundamental, de explicación llana, accesible a todo lector atento medianamente familiarizado con los principios de la Mecánica y la Física. Así, que confiado en la posibilidades de una exposición elemental de esa interesante y bella generalización tan digna de ser conocida y que constituye verdaderamente la obra célebre de Einstein, intenté la empresa; . . .” [40]. El contenido de la *Explicación elemental de las teorías de Einstein sobre la Relatividad y la Gravitación* es en líneas generales, el del texto que en diciembre de 1916 publicó Einstein para explicar a un público amplio sus ideas y que en 1920, apareció traducido al inglés como *Relativity the Special and General Theory* [41]. No podía ser de otra forma, ya que guardadas las proporciones entre los autores, ambas perseguían el mismo fin. Sin embargo, Mateos no hizo una copia de esa obra, sino que buscó sintetizar las partes medulares de la física relativista, tal y como puede verse al comparar los índices y el contenido de cada una de ellas. Además, el mexicano fue honesto, pues reconoció en varias ocasiones a lo largo de su libro, que conocía y había consultado el referido texto de Einstein.

Comentarios

Sin duda es notable que solamente siete años después de que Einstein publicara en los *Annalen der Physik* su trabajo “Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie”, apareciera en México un libro escrito originalmente en español, que se ocupaba de comentar y explicar las ideas que Einstein presentó en ese paradigmático artículo de la física moderna, además de tratar lo que había establecido ese sabio sobre el movimiento, el espacio y el tiempo en su trabajo de 1905. El interés que la Relatividad despertó entre un selecto grupo de mexicanos que en la década de 1920 se dedicaban a la enseñanza de las ciencias exactas, produjo algunos artículos que buscaron difundir las ideas relativistas entre un sector amplio de la población, pero ninguno pretendió ir más allá. Eso fue lo que hizo el ingeniero Juan Mateos al escribir y publicar la *Explicación elemental de las Teorías de Einstein sobre la Relatividad y la Gravitación*, pues en realidad produjo un texto -que con alta probabilidad- fue el primero de este tipo escrito y publicado por un hispanohablante, el cual cubría desde los aspectos de la física clásica que entraron en conflicto

con los experimentos, llevando a la formulación einsteniana del espacio-tiempo en el que se desarrollan todos los eventos físicos del universo, hasta las ideas que relacionan los campos gravitacionales con la curvatura que sufre el espacio en su presencia.

No existiendo en el México de aquella época estudios de Física como una disciplina independiente y menos aún de Física Moderna, el interés que gentes como Mateos mostraron por comprender y difundir los fundamentos de la Teoría de la Relatividad, fue verdaderamente loable e importante, pues aunque en forma indirecta, de alguna manera debió influir en los personajes que una década después, trabajaron arduamente para que surgiera la enseñanza de la Física como una disciplina autónoma en la Universidad Nacional, pues este ingeniero estuvo activo como profesor y divulgador en la época en que los futuros promotores de la creación de la Facultad de Ciencias y de los Institutos de Física y de Matemáticas de esa casa de estudios, comenzaban a destacar y seguramente lo conocieron, pues el mundo académico en que se movían así lo indica [42].

Finalmente es adecuado indicar que la lectura, sobre todo de las notas de pie de página que el ingeniero Juan Mateos incluyó en su texto, permite afirmar que se hallaba bien enterado de los avances que en su tiempo estaban ocurriendo en el mundo -sin que eso signifique que era un investigador especializado- pues en ellas, fue aclarando aspectos de distintos experimentos que mencionó a lo largo del texto, como el de Kaufmann-Bucherer, realizado con partículas β , que sirvió para probar supuestos de la Relatividad. Por último, pero no por ello menos importante, esas notas también dejan ver que estaba al tanto de la literatura científica que se producía en otras partes del mundo. Tal fue el caso del paradigmático artículo de Einstein de 1916, pues informa que tuvo acceso a él a través de una traducción al inglés que le proporcionó una persona de Nueva York, o también dice al referirse a los tensores, que “sobre este punto, puede consultarse con fruto el muy alabado opúsculo que, con el título *Methodes de Calcul Differential Absolu et leur Application* publicaron G. Ricci y T. Levi-Civita en 1900 en *Mathem. Annalen*; trabajo que está extractado en el artículo de J. E. Wright, *Invariants of Quadratic Differential Forms*, en el núm. 9 de *Cambridge Tracts*. 1908”, lo que muestra la importancia que para él y sus contemporáneos mexicanos, tuvieron bibliotecas como las que ya se han citado, a las que llegaban publicaciones especializadas como esas.

Agradecimientos

Quiero agradecer el trabajo de búsqueda bibliográfica realizado por la Lic. María Elena Jiménez Fragosó, responsable de la biblioteca del Instituto de Astronomía de la UNAM, Campus Ensenada, que permitió ubicar diferentes materiales utilizados en este artículo. Igualmente agradezco los comentarios hechos por un árbitro anónimo, que sin duda permitieron mejorarlo.

1. T. Saur, "Albert Einstein's 1916 Review Article on General Relativity". *Landmark Writings in Western Mathematics, 1640-1940*, Ivor Grattan-Guinness (ed), (Elsevier 2004).
2. A. Ashtekar (ed.) *General Relativity and Gravitation. A Centennial Perspective*. (Cambridge University Press, 2015). Ver Introducción.
3. F.W. Dyson, A.S. Eddington, and C. Davison, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **220** (571-581): (1920) 291-333.
4. A. Udías Vallina, *Historia de la Física. De Arquímedes a Einstein*, pp. 237-238. Editorial Síntesis, S.A. Madrid, 2004.
5. Besouw, J., Dongen, J. *The reception of relativity in the Netherlands*, Uva-DARE, University of Amsterdam, 2013. <http://dare.uva.nl>
6. F.T. Glick, (Ed.) *The comparative reception of Relativity*. (Springer, 1987).
7. D.E. Rowe, "Einstein's allies and enemies: debating Relativity in Germany, 1916-1920". En: *Interactions: Mathematics, Physics and Philosophy, 1860-1930*. (Springer, 2006).
8. D. Hu, "The Reception of Relativity in China". *Isis*, Vol. 98, No. 3, September 2007.
9. J.R. Morones Ibarra, "La teoría de la relatividad y su impacto en la ciencia moderna". *Ingenierías*, Julio-Septiembre 2006, Vol. IX, No. 32, pp. 25-37.
10. M. de la P. Ramos Lara, (coordinadora) *La Relatividad en México*. UNAM. (México, 2008).
11. C. Prieto de Castro, *Miscelánea Matemática* **57** (2013) 123-128.
12. S. Prieto Rodríguez, *Historia de las Matemáticas*. IMC/Ediciones. Toluca, 1991. Ver la parte del Suplemento.
13. M. Bustamante, "La teoría de la Relatividad". *Boletín de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas*. (México, 1921).
14. E. López, "La teoría de la Relatividad". *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*, T. 40, pp. 683-696. (México, 1922).
15. A. Mondragón, D. Barnés, *Manuel Sandoval Vallarta Obra Científica*. UNAM. (México, 1978).
16. R. Monges López, "Breve Estudio acerca de los fundamentos filosóficos de la teoría de la relatividad de Einstein". *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*, T. 46, pp. 95-104. México, 1926.
17. J. Gallardo Pérez, J. M. Lozano Mejía, M. de la P. Ramos Lara, "Publicaciones sobre temas de física en las *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*. *Ciencia ergo sum*, vol. 12, núm. 1, marzo-junio 2005, pp. 97-104.
18. M. de la P. Ramos Lara, "En torno a la Relatividad en la biblioteca de la Sociedad Científica Antonio Alzate". *La Relatividad en México*, pp. 143-156. UNAM. México, 2008.
19. M. de la P. Ramos Lara, *Synthesis Philosophica* **42** (2/2006) pp. 299-304.
20. M.A. Moreno Corral, "El Observatorio Astronómico Nacional en el Castillo de Chapultepec". *Lajas Celestes astronomía e historia en Chapultepec*. MNH/UNAM. (México, 2003), pp. 191-239.
21. *Opus cit.* en la Ref. 18.
22. M.P. Méndez Mendoza, *La Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos (1915-1934)*. Tesis posgrado. CIECAS, IPN. México, 2009. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3707>.
23. Actualmente existe un ejemplar en el Acervo de Libros Antiguos de la biblioteca del Instituto de Astronomía, ubicado en la Ciudad Universitaria de la capital mexicana.
24. J.M. Lozano Mejía, "Las primeras publicaciones mexicanas sobre la Teoría de la Relatividad". Ref. 10, pp. 35-38.
25. M. de la P. Ramos Lara, Ver Ref. 18.
26. C. Ledezma Ortiz, *Bol. Soc. Mex. Fis.* **5** (1991) 97-101.
27. G.A. Sarmiento, *Gravitación (Teoría General de la Relatividad)*. FC/IA UNAM. (México, 1986).
28. A. Macías, O. Obregón, *Gravitación y Cosmología. En Física. T. III de Cosmos Enciclopedia de las ciencias y la tecnología*. Dr. Leopoldo García Colín (coordinador). CONACYT, UAM, ICyTDF. (México, 2010).
29. C. Díaz de Ovando, *La Escuela Nacional Preparatoria*. Dos Tomos. UNAM. (México, 1972).
30. *Opus cit.*, T.I., p. 119, citando una nota aparecida en el periódico *El Nacional* del 27 de septiembre de 1883.
31. C. Díaz de Ovando, *Los veneros de la ciencia mexicana*, T. III, cap. 7.
32. *Opus cit.* p. 3340.
33. *Idem* pp. 3356-3359.
34. *Ibidem* pp. 3354-3355.
35. J.O. Moncada *et al.*, *Bibliografía Geográfica Mexicana. La obra de los Ingenieros Geógrafos*. UNAM. (México, 1999).
36. J.O. Moncada, *La obra de los ingenieros geógrafos mexicanos (1846-1950)*. LLULL, **27** (2004) 95-116.
37. F. Jiménez, A. Anguiano, *Memoria sobre el establecimiento del Observatorio Astronómico Central*. (México, 1877).
38. A. Anguiano, Informe. *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*. Tacubaya, México, (1887).
39. A.S. Eddington, *The Observatory* **42** (1918) 119-122.
40. J. Mateos, *Explicación elemental de las teorías de Einstein sobre la Relatividad y la Gravitación*. Ver la parte de la Advertencia.
41. A. Einstein, *Relativity the Special and General Theory*. Translated by Robert W. Lawson. (New York, 1920).
42. M. de la P. Ramos Lara, *Rev. Mex. Fis. E* **61** (2015) 93-103.