

in Arboleda, Luis Carlos & Paty, Michel (eds.), *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física*, Instituto de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle, Cali (Colombia), 2004, p. 111-151.

**FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA  
CULTURA CIENTÍFICA EN COLOMBIA:  
LA FÍSICA DE 1880 A 1940**

MICHEL PATY\*

REGINO MARTÍNEZ-CHAVANZ \*

## 1 INTRODUCCIÓN

La física y la matemática fueron introducidas y enseñadas en Colombia desde los tiempos de la Colonia (1550-1810), principalmente en Santafé de Bogotá, la capital del territorio que llevaba, en esa época, el nombre de Reino de la Nueva Granada.

Comenzaremos con una ojeada retrospectiva, a manera de digresión, la cual permitirá comprender el proceso de aculturación y sus vicisitudes, para mejor poder facilitar el análisis y las explicaciones ulteriormente. Esta mirada, siguiendo los pasos hacia el pasado, versará sobre la difusión de la física durante el periodo colonial, el cual se caracterizó por la enseñanza de la física aristotélica, tomadacomoun simple apéndice del corpus escolástico; seguida de una tardía implantación del modelo copernicano y, finalmente, coronado con la llegada de la física newtoniana (a finales del siglo XVIII). Ese movimiento de transculturación de las ideas tomó lugar durante casi dos siglos.

La enseñanza -aun bajo una apariencia "científica", que no era el caso- estaba enteramente supeditada al credo católico militante de la época y estaba orientada, casi exclusivamente, hacia la formación de eclesiásticos y religiosos, entre los cuales se escogerían los futuros preceptores. La física peripatética de los catedráticos coloniales, se limitaba a un suplemento sinóptico, muy restringido, del corpus aristotélico, donde se usaba a profusión la demostración estereotipada y estéril sin apoyo experimental, el estilo catequístico y el argumento de la autoridad. La formación estaba complementada por una parte consagrada a las matemáticas, sin referencia a autores "modernos", como por ejemplo, Descartes, Newton, Leibniz y Euler. A la lentitud, que tomó la instauración de cambios necesarios, por tímidos que fuesen, se agregó la rivalidad entre las comunidades jesuitas y dominicas, a las cuales la Iglesia había confiado la instrucción, [Martínez-

Chavanz, 1993; Lértora, 1995].

Un oscurantismo medioeval reinaba en la Colombia colonial, en pleno Siglo de las Luces, en el terreno de la filosofía, [Herrera, 1979], y, de igual manera, de las ciencias, no sólo en el dominio de la enseñanza sino en el quehacer. De este hecho frustrante, algunos ilustres clérigos eran conscientes; quienes aislados, estigmatizados y en minoría preconizaron la apertura y el cambio en lo que fue un enfrentamiento en un triple frente: contra la Curia romana, contra la metrópolis y contra la ideología implantada en el propio terreno colonial.

La instauración y la organización de la joven república de la enseñanza toma un lapso de tiempo que va desde 1819 hasta comienzos de la segunda mitad de ese siglo. Hemos escogido la fecha de 1880 como punto de referencia y de partida, ciertamente arbitrario y relativo, para estudiar el proceso de aculturación que nos interesa. De allí en adelante nos ocuparemos de la penetración, recepción y difusión de la física, hasta 1940. De este periodo mencionaremos someramente las instituciones, los medios de difusión, la élite científica, la enseñanza dispensada, las publicaciones y los trabajos de investigación científica. Después nos concentraremos en un ejemplo bien preciso: la recepción de la teoría de la relatividad. Para no sobrecargar nuestro análisis y por falta de espacio, dejaremos de lado, para otra ocasión, otras grandes teorías como la teoría cuántica y la teoría de la estructura de la materia. La escogencia emblemática de la teoría de la relatividad es tributaria de la orientación filosófica reinante, la cual determinó la opción epistemológica que precedió la recepción de la teoría relativista. El conocimiento del periodo colonial será necesario para poder comprender el contexto de los conocimientos, la naciente influencia francesa y el mecanismo de recepción de la física moderna. Terminaremos esta contribución evocando un cierto número de rasgos comparativos entre la recepción de la teoría de la relatividad en Colombia, en Brasil y en Francia.

## 2 LA FÍSICA DURANTE EL PERIODO COLONIAL DE 1550 A 1819

Las comunidades religiosas, con el apoyo entusiasta de las autoridades del virreinato, fundaron universidades, elaboraron numerosos manuscritos de los cursos dictados y adquirieron numerosos textos europeos de física y matemáticas. Evoquemos someramente la recepción y la difusión de las tres grandes teorías, que, en la época colonial, eran los sistemas aristotélico, copernicano y newtoniano.

En lo que a la física concierne, los primeros cursos de física aristotélica fueron dispensados hacia 1647, [Martínez-Chavanz, 1984, 1993; Lértora, 1995]. La traza de la enseñanza de la física peripatética se conserva a través de los múltiples cursos manuscritos (llamados mamotretos) y en las fuentes

que fueron los numerosos textos provenientes de Europa. Este material se encuentra en la Biblioteca Nacional, Bogotá, en la sección de L. R. C. B. N. Ha sido difícil identificar el autor y establecer con exactitud la fecha de la primera exposición del sistema copernicano en la capital del virreinato. Este sistema es mencionado por vez primera, en 1692, en la capital novogranatense, en un manuscrito importado de España, un siglo y medio después de la primera publicación de Copérnico (1543), [Martínez-Chavanz, 1984]. La exposición de las “ideas” copernicanas es tratada en menos de una línea, y renglón seguido es refutada perentoriamente por “su falsedad”, y rechazada de manera sumarásima por ser contraria a las enseñanzas de las Sagradas Escrituras. Pero se considera que la primera exposición sistemática del sistema copernicano data de la segunda mitad del siglo XVIII, entre 1755 y 1767, año de la expulsión de los jesuitas. Se considera que el autor fue un jesuita quien trata de la metafísica aristotélica, [Anónimo, 1755]. En ese mamotreto se menciona a Galileo, sus descubrimientos y su proceso; además, se hace alusión a los nombres de Descartes, Huygens, Newton, Maupertuis y Clairaut. Al mismo tiempo, con dibujos, se ilustran con precisión los sistemas planetarios tichónico y copernicano. De los fundadores de la mecánica pre-newtoniana (Galileo, Keppler, Huygens y Descartes) se hace escasa referencia. No obstante este avance ideológico, muy significativo, la enseñanza de la física, llamada “moderna” en esa época -es decir, newtoniana- es marginalizada y, con raras excepciones, los nombres de sus fundadores no son mencionados.

La hegemonía totalitaria de la física aristotélica comienza a desaparecer, de manera definitiva, a partir de 1762, con la llegada a Santafé del médico y naturalista español José Celestino mutis (1732-1808), quien inaugura, en 1762, la primera cátedra explícitamente consagrada al newtonianismo - sistema que databa de 1686- y pronuncia su lección inaugural delante del virrey, [Martínez-Chavanz, 1985, 1993]. Más tarde (en 1767, 1773 y 1801), Mutis dio conferencias en defensa del sistema copernicano. Los ideólogos religiosos comenzaron a alarmarse y la Santa Inquisición tomó el asunto en sus manos e intentó un proceso contra Mutis, por haber despertado el demonio copernicano; reproduciéndose aquí el tristemente célebre proceso contra Galileo, que tuvo lugar en 1633. A pesar de esas atribulaciones, Mutis logró organizar y estructurar con tenacidad, a principios del siglo XIX, la primera élite científica digna de ese nombre en la Colombia colonial. Élite que fue ferozmente diezmada por las tropas españolas lanzadas a la reconquista de la Colonia, ya que los sabios que rodearon a Mutis pagaron con sus vidas sus convicciones independentistas.

El miembro más ilustre de esta emergente comunidad fue el abogado y autodidacta en botánica, geografía, astronomía y física, Francisco José de Caldas (1768-1816), [Martínez-Chavanz, 1986, 1993; Albis y Martínez-Chavanz, 1987; Arboleda, 1992; Arboleda y Díaz-Piedrahita, 1994a]. Un

inestimable testigo ocular de la mencionada élite colonial, de sus actividades científicas, de sus logros, de sus gabinetes de física y de sus bibliotecas, fue el mineralogista y viajero alemán barón Alexander von Humboldt (1769-1859), [Martínez-Chavanz, 1995; Arboleda, 2000]. De esas bibliotecas se conservan todavía algunos de sus libros, entre ellos una edición de los Principia de Newton, los volúmenes de Matemáticas de Benito Bails, la colección de Physique de Sigaud de la Fond y un texto de física de Haüy. También, por iniciativa de Mutis, se construyó e inauguró, en 1803, un observatorio astronómico en Santafé, [Martínez-Chavanz, 1987, 1988]. Algunos años más tarde, después de la independencia de la corona española, se editó el primer libro de física en Colombia, texto de un nivel excelente publicado por José Félix de Restrepo, [Restrepo, 1825].

### 3 LA FÍSICA DURANTE LA REPÚBLICA DE 1860 A 1960

Después de la guerra de independencia y de la masacre de la naciente comunidad científica que siguió (1819), la nación exangüe, arruinada y desorganizada tuvo que dirigirse hacia los países europeos desarrollados, para substituir la influencia española y para solicitar ayuda financiera, material, educativa, cultural y humana, con el doble fin de crear una infraestructura científica y reorganizar la enseñanza técnica y universitaria. Un plan para la instrucción pública fue elaborado (Plan Santander de 1826). Se hicieron contactos con Francia y una misión francesa visitó a Colombia. Para poder explotar el sector minero se consideró crear una Escuela de Minas, lo mismo que un Museo mineralógico. Para el trazado de vías, carreteras y puentes, la delimitación de las fronteras, “la tecnologización” del país y la preparación del desarrollo industrial, se planeó la creación de escuelas politécnicas y de escuelas de ingenieros civiles y militares.

La enseñanza de las ciencias físicas, como también de las matemáticas, quedó sometida a las exigencias y demanda de los estudios de la ingeniería civil y militar, y no de la filosofía primera, como en los tiempos de la colonia. De esta manera la física se iba a imponer por una vía no científica, propiamente dicha, sino por la vía de la aplicación puramente técnica hasta llegar, mucho más tarde, a la autonomía, a la profesionalización y a la vocación de la investigación. Sin embargo, fue sólo, después de muchas tentativas erráticas y de algunos sinsabores ligados a la precariedad económica y política, que el estado de las cosas comienza a cambiar positivamente, y aun muy lentamente, hacia 1850. Ahora pasemos a resumir la variada situación de los recursos materiales y humanos disponibles, [Martínez-Chavanz, 1987, 1988].

### 3.1 LAS INSTITUCIONES

El Observatorio Astronómico Nacional fue reorganizado y en sus locales se instaló la reciente Escuela Militar, fundada en 1847 por el general Tomás Cipriano de Mosquera. En ella enseñaron profesores franceses con la ayuda de textos franceses. La misión francesa había comenzado sus actividades mucho más antes, desde 1830, y contaba entre sus miembros a Aimé Bergeron. Desde el comienzo de la organización de la enseñanza superior en Colombia, la influencia francesa fue muy marcada, como también lo fue en otros países de habla hispana como la Argentina, el Brasil y México. La influencia gala se refleja perfectamente en la organización y funcionamiento de las recientes instituciones, en los planes de estudio, en los profesores, en los textos y tratados, y también en las orientaciones pedagógicas y epistemológicas.

La Escuela Militar, que también tenía vocación civil, y donde se enseñó sistemáticamente el cálculo infinitesimal por la primera vez en Colombia, sufrió una serie de reveses desde su fundación. Para evitar el riesgo de su clausura definitiva, ella fue incorporada, bajo el nombre de Escuela de Ingenieros, a la recién inaugurada Universidad Nacional de Bogotá, esta última fundada en 1867.

En 1884 se procedió a la separación definitiva de los ingenieros en civiles y militares y la escuela de Ingenieros fue integrada definitivamente a la Universidad Nacional bajo el nombre de Facultad de Matemáticas e Ingeniería. En esta se preparaba y entregaba el título de ingeniero, y también, después de un año de estudios suplementarios y la redacción de un trabajo de grado, se daba el título de profesor de matemáticas y de física. Julio Garavito Armero fue el primer profesor colombiano de matemáticas graduado en esa Facultad, en 1891, y también obtuvo el título de ingeniero. Garavito pasó a formar parte del cuerpo de profesores, presentó y defendió reformas pertinentes para la enseñanza universitaria; hacia 1912, enseñó un curso de análisis matemático donde introduce el rigor inaugurado por el insigne matemático francés Augustin Louis Cauchy (1789-1857) en sus cursos de la Escuela Politécnica de París, desde 1821. De los cursos de Garavito se conservan las notas tomadas por estudiantes, presentadas en forma de texto; dichos cursos, en cuanto a su estructura, metodología, rigor y presentación fueron inspirados del texto del matemático francés Charles Sturm (1803-1855), [Villegas, 1992].

Entre tanto, en 1888, fue creado el Instituto Central de Matemáticas adscrito a la Universidad Nacional de Colombia, el cual ofrecía dos años de preparación de matemáticas después de los cuales el estudiante pasaba tres años a la Escuela de Ingeniería de la misma universidad, para especializarse en los estudios aplicados propios de la ingeniería, [Villegas, 1992]. De este instituto y de su destino no sabemos mucho. El estudiante de Garavito,

Jorge Acosta Villaveces, lo sucedió en la cátedra y redactó un texto de cálculo diferencial e integral, [Acosta, 1951], el cual trata las integrales simples y múltiples, las ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales, las funciones eulerianas y, finalmente, numerosas aplicaciones geométricas y físicas. En 1958, la Escuela precedente se disoció en Escuela de Ingeniería y en Departamento de Matemáticas. De esa manera la matemática recuperó su independencia y su profesionalización.

La segunda parte del siglo XIX fue el escenario de numerosas guerras civiles y golpes de estado, y en uno de estos episodios que el país conoció, la noble vocación del Observatorio Astronómico fue ultrajada bochornosamente. La edificación sirvió de fortín militar, de cuartel del ejército, de prisión, de garaje y de basurero, con las irremediables secuelas: los raros y delicados instrumentos fueron destruidos por balas, la confección de estas se hizo con el plomo que servía para materializar la meridiana y se intentó usar el papel de los archivos para la fabricación de cartuchos, [Álvarez, 1931]. A pesar de estas desventuras de lesa ciencia, desde 1880 se trabajó en la creación de la primera Asociación Astronómica Flammarion en Bogotá.

En 1887 tuvo lugar la fundación de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y su revista Anales de Ingeniería, la cual jugó un papel primordial en la difusión de numerosos y valiosos trabajos en matemáticas y en física. Más tarde, en 1903, se fundó el Instituto de Colombia, institución parecida al Collège de France, pero cuya existencia fue efímera. En 1933 se fundó la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, correspondiente de la Española, le siguió, en 1936, la creación de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Paralelamente a la Universidad Nacional, fueron creados otros centros universitarios. Sin embargo, la actividad científica se concentró en su mayor parte en la capital, hasta 1960. A partir de ese año, las universidades comenzaron a crear y organizar los departamentos de física y de matemáticas, los cuales tomaron la rienda de la enseñanza de la física al nivel de la carrera, y más tarde, de la maestría y a fomentar la investigación. A partir de este momento la física adquiere en Colombia su independencia, autonomía y financiamiento de sus actividades.

En el curso del siglo que va de 1860 a 1960, la influencia inicial francesa fue determinante y al mismo tiempo el aspecto teórico, sobre todo matemático, fue privilegiado con relación al aspecto práctico. Con el correr del tiempo esta influencia gala comenzó a debilitarse fuertemente y paulatinamente fue suplantada por la influencia inglesa, más pragmática y adaptada a la transferencia de tecnología. Con el tiempo fue, finalmente, la influencia norteamericana la que prevaleció. El periodo de transición de influencias desencadenó una polémica extenuante entre la teoría y la praxis, donde salió favorecido esta última. Con el tiempo, este pragmatismo

excluyente se ha temperado, en el sentido de que la física, tanto teórica como experimental, se ha desarrollado de manera equilibrada.

### 3.2 LA ÉLITE

Se puede afirmar que, antes de 1960, no había en Colombia una comunidad científica en física y en matemáticas, en el sentido exacto de la palabra. Sólomente existía una ilustre élite científica constituida de brillantes ingenieros, que estudiaban por propia cuenta la física de avanzada, y proseguían sus investigaciones de manera aislada, con pocos críticos, ausencia de evaluadores, sin impacto local o internacional y sin continuadores para cualquier tipo de aplicación. Los libros, las monografías y las publicaciones extranjeras más notables faltaban cruelmente; y más aun, eran casi inexistentes los contactos seguidos y los canjes con la comunidad científica de otros países de nivel más avanzado. Para comparar, por ejemplo, Argentina y Brasil eran de los pocos países que practicaban estos tipos de intercambios. Citemos algunas de las personalidades muy activas de nuestra élite:

1) Indalecio Liévano (1834-1913). Fue ingeniero, matemático, astrónomo y autor de textos de enseñanza. Se desempeñó como profesor de matemáticas y de astronomía, y ocupó el cargo de director del Observatorio Astronómico. Se cuenta entre los alumnos de Bergeron. Esbozó una teoría original sobre la estructura de los números reales.

2) Julio Garavito Armero (1865-1920). Titular del diploma de ingeniero y de profesor de matemáticas, se dedicó también a la física, a la astronomía, a la epistemología y a la economía política. Ha sido el matemático, el astrónomo y el primer físico más ilustre que ha tenido Colombia hasta la primera mitad del siglo XX. Fue director del Observatorio Astronómico y un brillante profesor universitario, encargado, en 1898, de modernizar los cursos de matemáticas para los ingenieros, para ello se inspiró del modelo de enseñanza francesa introducido por Cauchy en la Escuela Politécnica de París, [Villegas, 1992; Arboleda, 1996]. Su encauzamiento filosófico (sobre todo ontológico) y epistemológico muy marcado no le permitió sino aceptar la geometría euclidiana y la física newtoniana. Criticó y rechazó las geometrías no euclidianas, artificiales según él, y las redujo a puros ejercicios académicos sin consecuencias ni aplicaciones a la física. Tampoco aceptó la física no newtoniana (la relativista, sobre todo) por encontrarla plagada de muchas hipótesis, poco natural y alejada del ideal clásico de absoluto. Esta postura hipercrítica de rechazo *a priori* lo inhabilitó para asimilar la nueva física exhibida por la teoría de la

relatividad; por este hecho se convierte en el primer antirrelativista militante en Colombia. Esta actitud conllevó a consecuencias nefastas para el desarrollo de la física teórica y moderna en el país, ya que él tenía a su cargo la difusión del conocimiento científico en la cátedra. Realizó investigaciones en variados campos, he aquí una muestra: la aberración astronómica, el movimiento relativo, las órbitas cometarias, los movimiento de la Luna, la determinación astronómica de coordenadas geográficas, la meteorología, la dinámica de los electrones, la geometría de Lobachevski, y variados problemas y temas de matemáticas, entre ellos algunos de geometría algebraica. Para más detalles ver [Martínez-Chavanz, 1987]. Ocupó cargos en la Asamblea Departamental (diputado) y en el Concejo de Bogotá. Un cráter de cara oculta de la Luna lleva su nombre.

3) Darío Rozo Martínez (1881-1964). Fue ingeniero civil y se consagró también al estudio de la física, de la astronomía y de la geodesia. Se cuenta entre los miembros fundadores de la Sociedad Colombiana de Física (1955). Fue el primer colombiano en difundir y defender las nuevas ideas relativistas de Einstein, en 1923, [Rozo, 1923]. Realizó investigaciones, entre ellas, sobre la teoría de la relatividad, la mecánica ondulatoria, los fundamentos de la física y los rayos cósmicos.

4) Jorge Álvarez Lleras (1885-1952). Fue ingeniero, discípulo y defensor de las ideas de Garavito y su biógrafo. Ocupó el cargo de director del Observatorio Astronómico, de la revista *Anales de Ingeniería* y de la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales*; fue presidente de la Academia de Ciencias, lo mismo que de la Sociedad Colombiana de Ingenieros. Álvarez fue un excelente pedagogo y redactó numerosos cursos destinados a los estudios de ingeniería. Combatió, no sin ardor, las teoría de Einstein y de Minkowski, al mismo tiempo que las teorías cuánticas; y, como consecuencia de su orientación epistémica, consideró el advenimiento de la física moderna como una “peste” y un “hecho perturbador” en el feudo de la física clásica. Hizo aportes en física experimental. Poseía una extensa cultura y, además, tenía una fina pluma literaria de prosista. También fue un gran vulgarizador exaltado y con tintes de militantismo. Incursionó en la epistemología, defendió el positivismo en la física moderna e hizo suyas las ideas del filósofo inglés Herbert Spencer (1820-1903). Hizo una gira por Europa.

### 3.3 LAS INVESTIGACIONES Y PUBLICACIONES

Los problemas que más atrajeron la atención de los miembros de la élite científica colombiana, y sobre los cuales trabajaron, fueron: La construcción

de los números reales, las geometrías euclidiana y no euclidianas (Liévano y Garavito), [Albis y Soriano, 1977; Albis, 1997; Arboleda y Anacona, 1994b; Sánchez, 1994]. Luego siguen otros problemas que a continuación enumeramos.

Los temas que siguen fueron abordados por Garavito.

- 1) En matemáticas: Los invariantes algebraicos en las ecuaciones, las probabilidades, la geometría y el análisis.
- 2) En astronomía: Observaciones de cometas y eclipses, las tablas de la Luna y el movimiento elíptico, es decir, el problema de los tres cuerpos.
- 3) En física, donde Garavito realizó la mayor parte de sus publicaciones, se ocupó de: Balística, mecánica, geomagnetismo, climatología, dinámica de los electrones, fundamentos de óptica, óptica de cuerpos y medios refringentes en movimiento relativo, y, finalmente, de la teoría ondulatoria de la aberración astronómica.
- 4) En epistemología: Sus reflexiones en este campo, en gran parte tributarias de las de Henri Poincaré, lo condujeron a ocuparse del estatus ontológico, de la legitimidad, de la realidad y de la utilidad práctica de la física newtoniana, de las teorías físicas modernas (electrónica, atómica y relativista, sobre todo), de las geometrías euclidiana y no euclidianas, y de la astronomía.

Jorge Álvarez Lleras realizó medidas sobre la radiación solar, la meteorología y el magnetismo terrestre en la región de la Sabana de Bogotá; también llevó a cabo observaciones de eclipses. Darío Roza Martínez publicó trabajos sobre la relatividad especial y general, la gravitación, la mecánica ondulatoria, los modelos atómicos y sobre los fundamentos de la física [Martínez-Chavanz, 1987]. Las revistas *Anales de Ingeniería* y *Revista de la Academia de Ciencias* sirvieron de vectores de difusión en física y en matemáticas; además, de constituir un precioso medio de comunicación local de los resultados de la emergente investigación.

Otros miembros de la élite se interesaron por problemas físicos de la actualidad que vivieron, sobre todo después de la difusión positiva, y propiamente dicha, que, de la teoría de la relatividad, se hizo en Colombia (1923); pero esos aportes los mencionaremos pertinentemente más adelante.

#### 4 LA RECEPCIÓN DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD EN COLOMBIA

El año de 1919 dividió la historia de la recepción mundial de la teoría de la relatividad en dos periodos: Un “antes” y un “después” del eclipse total de Sol del 29 de mayo de 1919. Con su observación se verificó la desviación de los rayos luminosos estelares que pasan cerca del Sol, como lo predecía la reciente teoría relativista de la gravitación de Einstein, o teoría de la relatividad general, [Paty, 1999]. Este hecho coadyuvó a enfocar

definitivamente la atención sobre esta novedosa y revolucionaria teoría general y a suscitar la adhesión entusiasta, al menos a la teoría especial, la cual ya había adquirido el estatus de teoría exacta y admitida, de logro definitivo, habida cuenta de las numerosas y fecundas aplicaciones que abogaban por ella en la física. Hay que recordar que la teoría de la relatividad general, a pesar de su belleza intrínseca y su rigor matemático, no despertó la adhesión definitiva de la comunidad internacional y cayó en cierta especie de indiferencia como consecuencia de sus débiles capacidades de aplicaciones a los pocos fenómenos conocidos en la época.

Durante el periodo “antes”, la teoría de la relatividad, sobre todo su versión especial, tardó mucho en ser conocida explícitamente en Colombia, lo que retrasó su debida asimilación y su eventual enseñanza. Numerosos factores, como ya los hemos señalado anteriormente, obraron en contra de una recepción desapasionada y serena, aunque necesariamente acompañada de saludables polémicas y debates: las conexiones precarias con el extranjero, la falta de artículos y libros disponibles, la falta de fuentes originales o de comentarios de autores competentes, la ausencia de necesidad de enseñanza de ese tipo de física en la carrera de ingeniería, la hegemonía totalitaria de la física newtoniana, la falta de disposición hacia la desnewtonización de la física, la deseudidización de la geometría y, finalmente, los atávicos prejuicios filosóficos hicieron el resto.

Algunos miembros de la élite -en su gran mayoría eran ingenieros- estaban al corriente de los problemas fundamentales de la física prerrelativista: el estatus del éter y su cinemática, las experiencias de Fizeau y de Michelson-Morley, la aberración astronómica, la masa variable del electrón en movimiento y, en general, de la problemática de la electrodinámica (y la óptica) de los cuerpos y medios refringentes en movimiento. El ingeniero Álvarez Lleras fue quien, por la primera vez en una publicación colombiana, hizo referencia a las ideas relativistas en 1915, [Álvarez, 1915]. No se trataba de una exposición sistemática de la relatividad, sino más bien de exhibir su refutación, con el objetivo expreso de poner en relieve las ideas y trabajos de Garavito. En ese artículo, Álvarez menciona el principio de relatividad de Einstein, el espacio-tiempo de Minkowski; y afirma la imposibilidad de concebir una cuarta dimensión, lo mismo que la contracción de Lorentz, la cual juzga inaceptable.

Sólo algunos profesores e ingenieros estaban al corriente de las ideas relativistas, entre ellos Garavito. A partir de 1911, gracias a artículos de vulgarización de segunda mano en español o a publicaciones en francés o en inglés hechas por autores calificados se vino a saber de la existencia de la teoría especial de la relatividad.

Antes de 1923, las ideas sobre la teoría de Einstein eran conocidas en Colombia (y su difusión misma) de manera vaga, por alusiones indirectas y fragmentarias, no se contaba con una exposición sistemática. Las referencias

que se hacían de dichas ideas siempre eran acompañadas de fuertes críticas, objeciones, incomprensiones y oposición; sobre todo, provenientes de Garavito y Álvarez [Garavito, 1917; Álvarez, 1920, 1938]. A partir de la lectura atenta de esas referencias y de su nivel presumimos que, en esa época, en Colombia no se disponía de los artículos de primera mano o de las monografías que ya circulaban en Europa, entre 1911 y 1922. He aquí algunos autores de textos sobre la relatividad ya muy conocidos en ese periodo: A. Einstein, M. von Laue, R. D. Carmichael, L. Silberstein, M. Schlick, R. Tolman, A. S. Eddington, H. Weyl, M. Born, J. Moch, E. Cassirer, P. Langevin, W. Pauli y J. Becquerel. Darío Rozo Martínez afirmaba que en 1920 en Colombia «no se conocía todavía el cuerpo de la doctrina de los einsteinianos». No olvidemos que, desde 1907, Einstein era ya conocido en la comunidad científica y que él fue generalmente reconocido internacionalmente, partir de 1911, por su participación al primer Congreso de Solvay, [Paty, 2002].

#### 4.1 LA DIVULGACIÓN DE LA RELATIVIDAD

El primer artículo de divulgación relativista, propiamente dicho, llegó al país en 1922, [Moreux, 1922]. Se trata de una traducción, en cuatro páginas, de un artículo en francés sobre la física moderna. En él no se habla de la teoría de los cuantos, en cambio sí se insiste mucho en la nueva teoría relativista de la gravitación de Einstein, destinada a reemplazar la vieja teoría de Newton. El autor declara que frente a esta novedad «vemos derribarse todo un edificio». Luego se refiere a la anomalía del perihelio de Mercurio y a la observación de la desviación de los rayos estelares que pasan cerca del Sol, como hechos inexplicables newtonianamente. El artículo concluye saludando el triunfo de las ideas de Maxwell y de la unidad de la física.

El primer colombiano que realizó, en el país, la divulgación de una síntesis rigurosa y bastante completa de la teoría especial y general de la relatividad fue el ingeniero Darío Rozo Martínez, en 1923, [Rozo, 1923]. Comienza haciendo una referencia introductoria a las ideas de Garavito sobre la óptica; luego pasa a describir el experimento de Michelson-Morley, y más adelante, expone la deducción de numerosas fórmulas relativistas: las transformaciones de Lorentz, la contracción de Lorentz-Fitzgerald, la composición relativista de las velocidades, la relación entre la masa y la energía, etc. El autor introduce el espacio-tiempo, pero no menciona la dinámica relativista, ni la aplicación a la óptica (efecto Doppler y aberración astronómica), ni el electromagnetismo en el marco relativista. En la parte que consagra a la introducción conceptual de la relatividad general, describe la métrica, al tensor métrico y sus consecuencias respecto de la curvatura y

de las geodésicas. Rozo insiste sobre el espíritu de generalización de la física einsteiniana con relación a la física newtoniana, la cual -según él- no es absolutamente destronada y concluye recalcando el carácter unificador de la nueva teoría. La exposición que hace Rozo constituye una divulgación de alto nivel, clara y muy rigurosa.

Finalmente, Rozo señala en la bibliografía, que acompaña su artículo prístino, dos libros traducidos al español: *Espacio, Tiempo y Gravitación* de A. S. Eddington -el cual cita mucho-, [Eddington, 1920], y *Los fundamentos de la teoría de la Gravitación de Einstein* de E. Freundlich, [Freundlich, 1916]. También reseña un libro en francés, *La matière et l'énergie* de Louis Rougier. Una costumbre de D. Rozo M., inusitada en esa época en Colombia, era la de acompañar sus escritos de la bibliografía correspondiente.

A partir de 1925, los *Anales de Ingeniería* publicó una interesante lista de monografías y textos que habían llegado a Bogotá y a Medellín, [Bibliografía, 1925, 1926; Vallejo, 1934a; Álvarez, 1937; para más detalles ver, por ejemplo, Martínez-Chavanz, 1987]. He aquí algunos autores u obras listados: A. S. Eddington (*Revisión general sobre la teoría de la relatividad*); A. Einstein (*Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, Cuatro conferencias sobre la relatividad, La física aventura del pensamiento*, [Einstein and Infeld, 1938]); G. García, W. de Sitter, Ramón G. Loyarte, Jean Becquerel (*La Relativité et la gravitation*, 1922), Lucien Fabre (*Les Théories d'Einstein*, 1922), T. Greenwood (*Théorie de la relativité*, 1924), Blas Cabrera (*Principio de relatividad*), L. Urbano (*Estudio crítico de las teorías relativistas*), P. Painlevé, P. Appell, A. Compton (*X-rays and electrons*), H. Weyl, Reiche (*Teoría de los Quanta*), H. Poincaré (*La ciencia y la hipótesis, El valor de la ciencia*), J. J. Thomson (*Electricidad y Materia*), *Actas del congreso de Física en Roma* (1930), Castelfranchi (*Curso de Física*), Slater-Franck (*Physics*) y A. Righi (*La Théorie Moderne des phénomènes Physiques*). Este último libro estimuló a Garavito para intentar dar una explicación, de manera clásica, a la constatación experimental de la masa variable del electrón en movimiento, [Garavito, 1912a].

Algunas revistas de divulgación llegaron al país; he aquí algunas: *Science*, *Revista de Ingeniería* (Buenos Aires, 1923), *Ibérica*, *La Technique Moderne*, y *La Science et la Vie* N° 176 (1932) (80); otras figuran en [Martínez-Chavanz, 1988]. Toda esta lista bibliográfica parcial nos da, no obstante, una idea aproximada del material disponible en los medios universitarios y en la asociación de ingenieros; infortunadamente no disponemos, en la mayor parte de los casos, de la fecha de llegada. Esto nos permite juzgar parcialmente la calidad de la información y la influencia que ella podía ejercer en los principales centros de enseñanza y en la misma élite.

En 1926, los *Anales de Ingeniería* transcribió un artículo de divulgación del físico español Blas Cabrera, [Cabrera, 1926], publicado antes en una revista de Madrid. Allí se exponen los modelos atómicos, la antigua teoría de los cuanta, la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. Más tarde, en 1928, se tradujo del francés un artículo, [Lallemand, 1928], el cual presenta una posición crítica casi de rechazo contra la relatividad, considerada como una "métaphysique" más y como una teoría que viola el "sentido común" y "la experiencia". Esta publicación excitó el sentimiento antirrelativista congénito de Jorge Álvarez Lleras y lo indujo a preceder este artículo de una nota de presentación donde él escribe esencialmente que la relatividad es un "teoría cuestionada", que sirve de diversión a una inmensa «pléyade de escritores, filósofos, físicos y matemáticos».

Ese mismo año (1928), la *Revista de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería* (Bogotá) inauguró su publicación con la versión española del libro de vulgarización escrito por Einstein, [Einstein, 1917], lo cual se hizo en varias entregas. Fue finalmente, en 1946, cuando la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* publicó por la primera vez una exposición de la relatividad especial, [Ángel, 1946]. Esta revista también publicó las numerosas contribuciones que Rozo elaboró y que tienen que ver con la teoría de la relatividad.

#### 4.2 LA ACEPTACIÓN DE LAS IDEAS DE EINSTEIN

Tenemos que señalar claramente, que la élite colombiana de la época sí poseía los conocimientos físicos suficientes, además de los instrumentos matemáticos adecuados, para comprender perfectamente lo esencial de las concepciones relativistas, tales como fueron expuestas por Lorentz, Poincaré y Einstein, [Lorentz, 1904; Poincaré, 1905a, 1905b; Einstein, 1905, 1907, 1913]. Bajo estos aspectos, la teoría de la relatividad no debía encontrar ningún tipo de obstáculo para su asimilación. Es plausible pensar que tal no era el caso para el formalismo geométrico de Poincaré y de Minkowski, y para los grupos de Lie, [Poincaré, 1905b; Minkowski, 1908, 1909], introducido por estos autores. En el primer caso, la introducción de una cuarta dimensión y de una geometría pseudoeuclidiana era inaceptable para la élite, por simples razones ontológicas y epistemológicas; en el segundo, caso se trataba de una novedad técnica, aunque no indispensable para comprender la teoría, pero que sí contenía la esencia de la invariancia relativista.

El hecho de que la penetración de la relatividad haya sido lenta, tardía y muy polémica en Colombia, tiene una explicación que ya hemos evocado. No es un caso singular, aislado o excepcional, puesto que en Europa el advenimiento de las teorías relativista y cuántica suscitó igualmente

oposición, controversias y críticas de la parte de ilustres físicos, matemáticos y filósofos. El caso de la relatividad que nos interesa, que en el tiempo limitaremos al periodo que va de 1915 a 1920, fue el más crítico y fue ilustrado principalmente por las posiciones de Garavito y de Álvarez, sobre todo las del primero. La polémica muestra una adhesión absoluta y sin apelación a la física newtoniana, y desde luego, al espacio absoluto tomado como soporte necesario de la geometría euclidiana concomitante. El substrato filosófico de fondo lo constituía una especie de epistemología ecléctica, fusión de concepciones inspiradas en Poincaré y, en un menor grado, en Bacon, Descartes, Kant, Comte y Spencer, que Garavito y Álvarez habían seleccionado.

La aceptación del principio de relatividad galileana por el pequeño número de los que se interesaban (que aquí hemos llamado la élite) era más que natural, puesto que aquello era parte esencial de la mecánica newtoniana, la cual es correcta y exacta en la explicación de los fenómenos donde las velocidades son muy inferiores con respecto a la de la luz. Todo físico de antes de 1905 aceptaba, no solamente dicho principio, sino también el conjunto de las concepciones newtonianas absolutas y de sus consecuencias. La primera reacción en Colombia fue la de conservar a ultranza esas concepciones pre-relativistas y, *a fortiori*, de rechazar el nuevo principio de relatividad y los nuevos absolutos e invariantes relativistas propuestos por Einstein y acordes con el nuevo orden experimental y teórico. "Después" de 1919, con la aparición del artículo de Rozo [Rozo, 1923], y la llegada a Colombia de la literatura relativista apropiada, las cosas comenzaron a cambiar.

#### 4.3 EL RECHAZO DE LA RELATIVIDAD

Ya señalamos que la corriente antirrelativista, que se opuso a la teoría de Einstein y la impugnó, estaba encabezada por Garavito, [Garavito, 1912b, 1913, 1917, 1920a, 1920b], y su alumno y epígono Jorge Álvarez Lleras, [Álvarez, 1915, 1942a, 1945]. También había otros miembros de la élite, ciertamente menos notorios, que profesaban la misma actitud. Con motivo del deceso de Garavito, en 1920, el discurso fúnebre, leído por el representante de la Sociedad de Ingenieros, recordaba lacónicamente que Garavito había obrado por la unificación de la física y que, además, ésta, buscando la aventura, corría el riesgo de hacernos «perder la herencia que nos legó la ciencia positiva del siglo XIX», [Garcés, 1920; Gómez, 1921]. Poco después aparecieron las primeras publicaciones tendientes a difundir y a vulgarizar la física relativista.

La autoridad indiscutible de Garavito contribuyó, no obstante, de una cierta manera, al anti-relativismo naciente. Hay que anotar también que sus puntos

de vista no fueron suficientemente analizados ni evaluados de manera seria y competente; por el contrario, se tomaron como opiniones verdaderas e inmutables, como adquisiciones definitivas. Esto contribuyó, desde luego, a levantar una barrera que impidió, por muchos años, el estudio y la intelección de novedades insospechadas de la naturaleza. Se argüía sucintamente que la constancia de la velocidad de la luz, “a causa de su absurdidad”, incomodaba a les «panegiristas de la relatividad»; otros fueron decepcionados por un libro de Einstein, [Einstein and Infeld, 1938], mientras que otros veían en él la evidencia, [Arciniegas, 1921; Correspondencia, 1940; Variedades, 1941]. Todavía, hasta 1939, algunos colombianos dudaban de la exactitud y de la precisión de la experiencia de Michelson-Morly y de otras similares, [Notas de la dirección, 1939]. Es cierto que un pequeñísimo número de científicos, estadounidenses en particular, defendían esa posición.

Era notorio que Álvarez alimentaba un escepticismo hacia la existencia de una velocidad límite (el muro de la luz), lo mismo que hacia la curvatura del espacio, y la homogeneidad del espacio y del tiempo. Él se apoyaba en Émile Borel y en Henri Poincaré, a quienes interpretaba arbitrariamente, a su manera. Además, proclamaba que entre menos comprendemos, más devenimos relativistas intransigentes.

La interpretación que Garavito daba de la experiencia de Michelson y Morley -y aún también de la de Fizeau, aunque esta última fuera estrictamente incompatible con un arrastre total del éter- era que dicha experiencia probaba más bien la existencia de un éter totalmente arrastrado por el movimiento de los cuerpos, [Garavito, 1916a, 1917]. Él aceptaba también la adición galileana de las velocidades, aún para la luz. La desconfianza, más aún, la oposición de Garavito y Álvarez hacia las geometrías no euclidianas y a su eventual utilización en el dominio de la física eran notorias, aún si ellos pensaban que un espacio y una geometría deseucledianizados podían ser concebibles y plausibles en un sentido estrictamente abstracto, teórico y analítico, [Garavito, 1916b, 1938; Álvarez, 1920, 1938]. Según ellos, esto no constituía un argumento para acreditar sus legitimidades, porque estas no implicaban su realidad, y tampoco correspondían a la experiencia y a la conceptualización *a priori*, [Arboleda y Anaconda, 1994b; Albis, 1997]. Aún la deseucledización de la geometría en provecho de una riemannización, aun a medias, beneficiosa para la nueva teoría de la gravitación, no era viable para ellos, ya que la propuesta de Einstein hacía que la distribución de la materia determinara la geometría localmente; es decir, que la física impusiera la geometría a través de la estructura de un espacio metrizable *a posteriori*. El enunciado relativista y apodíctico: La materia crea la geometría, era para ellos una aporía insuperable, ya que iba en contravía de las entelequias newtoniana y kantiana, como a estas se les consideraba.

Para ellos era aún superfluo y absurdo considerar la plausibilidad de un universo espacio-temporal cuatridimensional, como lo había concebido primero Poincaré, y luego Minkowski, [Poincaré 1905a, 1905b; Minkowski, 1908, 1909]. Hora bien, por haber rechazado este aporte heurístico, entonces, inhabilitaron la hermosa posibilidad de apreciar la nueva invariancia métrica, la simetría subyacente de la relatividad y su estructura típicamente geométrica en el sentido de Klein. Esta postura antigeométrica, como ya hemos visto, se debió a un rígido eclecticismo, sin margen de tolerancia “epsilónica”, protegido por una barrera epistemológica y por un obstáculo ontológico, lo que impidió la recepción de la nueva geometría y la nueva física geometrizada en Colombia. El mismo fenómeno se repitió, más tarde, cuando se concibió la gravitación geometrizada, esta vez la geometría riemanniana sufrió el mismo rechazo que la geometría poincaro-minkowskiana.

El prestigio y la autoridad de Álvarez no eran, desde luego, despreciable en la capital, es decir, en Colombia, puesto que él ocupaba simultáneamente ciertos cargos claves: director del Observatorio Astronómico, director de los *Anales de Ingeniería*, director de la *Revista de la Academia de Ciencias*, presidente de esta y de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, y, además, profesor universitario y decano en la universidad. Él se expresaba con el acento del militante, en nombre de la Academia y la comprometía cuando iba en contravía de las ideas de Einstein, y del propio Rozo, o defendía las concepciones clásicas de Euclides, de Newton, de Garavito, del éter, del empirismo, etc., [Notas de la dirección, 1938b, 1939; Variedades, 1941; Martínez-Chavanz, 1987]. Sobre este punto volveremos con más detalles.

La influencia exterior vino a alimentar infortunadamente el rechazo interno bajo la forma de artículos y de libros debidos a notorios autores extranjeros antirrelativistas, lo que contribuyó a volver la discusión relativista «pletórica de vacuidad», dogmática, mimetizada en una especie de inmunización contra las ideas relativistas, y al mismo tiempo desprovista de serenidad, de claridad y de perspectivas. La revista hacía eco a toda clase de reflexiones, aun las menos autorizadas, con tal que fueran anti-relativistas. Esto constituyó una eficaz vacuna anti-relativista tanto más que ese género de literatura, dentro de una completa confusión, calificaba las ideas condenándolas con términos, por lo menos, frívolos y chocantes: “locura” (sic), “retroceso” y “estagnación”. La relatividad, cuya refutación se encontraba en su nivel más bajo, se estigmatizó con epítetos, fuera de toda dialéctica científica, que pretendían poner de relieve su intrínseco carácter de “anti-newtoniana”, “matemática”, “nebulosa”, “falaciosa”, “metafórica”, “metafísica” y “violadora del sentido común”. Asimismo se resaltaba la existencia incommovible del éter y su importancia teórica incontrovertible, [Álvarez, 1915; Lallemand, 1928; Cabe, 1936; Correspondencia, 1940; F. P. 1940; Sáenz, 1941; Ivaldi, 1938a, 1938b; Argensola, 1953; Notas de la

dirección, 1938b; Weil, 1939a, 1939b]. Así mismo, la prensa local manifestó de manera ligera su poca confianza hacia los sabios, [El Tiempo, 1940].

No hay que olvidar que la *Revista de la Academia* concedió poco espacio a las ideas contrarias a la tradición, es decir, a las concepciones relativistas, al menos al comienzo de su publicación; un porcentaje apreciable de sus publicaciones son anti-relativistas, rompiendo así el equilibrio de un órgano científico y autónomo de información oficial. En un conjunto de "glosas de carácter personal" sobre la física, hecho por Álvarez a propósito de las nuevas definiciones y de los nuevos términos de la física, muy poco lugar es otorgado a los vocablos cuánticos y ninguno a los relativistas, [Álvarez, 1942c]. Exhibamos dos ejemplos de esta especie de barrera oficial. Con razón del primer centenario de la muerte del físico y matemático francés André Marie Ampère (1775-1836), "el Newton de la electricidad" según James Maxwell, la Academia de Ciencias (Álvarez era entonces su presidente) envió un mensaje al comité organizador, de este tenor: la Academia "haciéndose intérprete de los sentimientos del pueblo colombiano [...] hace votos [...] porque, en el terreno de la Física Moderna, se torne pronto a los métodos lógicos de la escuela de Newton". A propósito de los artículos publicados por los *Anales de Ingeniería* Álvarez previno, en un editorial, que «esta Revista no puede acoger la información científica que se ha enviado sino a título de conceptos provisorios o provisionales» (sic), [Álvarez, 1925]. Algo parecido no sucedía con las publicaciones con vocación clásica.

#### 4.4 LA CONTRIBUCIÓN DE GARAVITO

Los trabajos de Garavito no son del dominio propiamente dicho de la relatividad, más bien conciernen con algunos problemas pré-relativistas sobre la óptica de los medios transparentes y de los cuerpos en movimiento relativo. Como ya lo vimos antes, Garavito desconoció el principio de relatividad especial, él adhirió de manera exclusiva al principio de relatividad de Galileo, a los absolutos newtonianos y a la mecánica del punto material y de las ondas (con un éter totalmente arrastrado por los cuerpos en movimiento). No se aventuró a considerar la desmecanización de la física clásica con el nuevo concepto de campo. Por consiguiente, sus resultados y soluciones, de los interrogantes y problemas que él se planteó, se sitúan, *stricto sensu*, en un marco puramente mecanicista clásico argumentado con algunos sucedáneos, que él estimó pertinentes para salvar los fenómenos, [Martínez-Chavanz, 1978].

Garavito realizó sus contribuciones, [Garavito, 1912b, 1913, 1916a, 1920a, 1920b] de manera independiente; muy probablemente, él no estaba al

corriente de las soluciones completas y satisfactorias dentro de varios marcos teóricos dadas por otros físicos, que habían tratado anteriormente esos problemas: [Euler, 1750; Fresnel, 1818; Stokes, 1845; Lorentz, 1886, 1892, 1895, 1904; Larmor, 1900; Sagnac, 1905; Einstein, 1905].

Por ejemplo, en el caso del problema de la aberración astronómica, su solución más satisfactoria fue dada por Einstein en su teoría especial de la relatividad, [Einstein, 1905]. Dicha solución resulta de la simple aplicación de la nueva cinemática relativista, y es independiente de la escogencia del modelo corpuscular u ondulatorio de la luz y, más aún, no depende de la existencia del éter. La solución es una serie de potencias en  $\beta = v/c$ , como lo quería Garavito ( $v$  es la velocidad del cuerpo y  $c$  es la velocidad de la luz); la primera potencia coincide con la solución clásica, a la cual ya todos los autores mencionados, incluso Garavito, habían llegado, cualquiera que hubieran sido las hipótesis sustantivas y los modelos adjetivos utilizados. Ahora bien, eso debía ser así puesto que, a ese primer orden de aproximación en  $\beta$ , toda teoría clásica neutralizaba el viento de éter para que así éste fuera indetectable, y por ende, el principio de relatividad galileana fuera preservado -este argumento adrede, que aquí desempolvamos, es para situarnos en la época y hablar en el lenguaje "etéreo" de antaño-. En resumen, la neutralización a toda modificación cinemática se hace exactamente en un éter en reposo absoluto a través de una compensación total ofrecida por el arrastre parcial del éter local por los medios refringentes en movimiento (coeficiente de arrastre de Fresnel, [Fresnel, 1818]), esto implica directamente la ausencia de un viento de éter, por consiguiente el éter no puede ser usado como un sistema de referencia natural. Conclusión: el movimiento absoluto es inobservable al orden  $\beta$ .

Pero la teoría de Einstein toma en cuenta todos los órdenes del desarrollo, incluyendo naturalmente el segundo orden  $\beta^2$ , entonces las transformaciones de Lorentz permiten aún anular el viento de éter (éter en reposo absoluto) en  $\beta^2$ , y de nuevo el huido viento de éter es inobservable -todavía en el lenguaje arcaico-, y de nuevo, la relatividad galileana es garantizada; pero lo verdaderamente nuevo es que el principio de relatividad einsteiniana es respetado. Conclusión: el movimiento absoluto es indetectable a cualquier orden  $\beta$ . Lo que provee la experiencia, la teoría lo prevé.

Ya hemos señalado que Álvarez siempre defendió la obra de de Garavito, [Álvarez, 1931, 1936; Dirección (la), 1937; Algunos conceptos 1938], lo mismo que lo hicieron otras personalidades, [Velásquez, 1933; Notas de la dirección, 1938b]. Esta defensa y justificación, muy simplista y trivial, se hizo en detrimento del análisis y de la crítica rigurosa de las ideas de Garavito. En cambio Rozo, [Rozo, 1923], procedió a una apreciación más imparcial, menos impetuosa y retórica, acompañada de juicios de valor ponderados y reflexivos, muy alejados de los panegíricos, ditirambos y apotheosis de la pluma de Álvarez.

Una revisión de la física clásica, según Garavito, no era posible ni aun deseable. Esta tesis fue retomada por Álvarez de manera radical y reduccionista: otorgó un privilegio tal a la mecánica clásica que llegó a considerarla como el modelo natural, verdadero y definitivo de la física, al cual debería reducirse esta, [Álvarez, 1932a, 1932b]. Con motivo del Congreso de Física reunido en Roma en 1932, Álvarez aseguró, de manera alarmista, que la tesis de Garavito se encontraba confirmada, y que «la bancarrota de la física era un hecho», que equiparaban a «la bancarrota de la moral».

Independientemente de su orientación epistemológica y de su concepción de la física clásica, los aportes de Garavito son originales e ingeniosos, aun si cuando se les examina atentamente se descubren hipótesis incorrectas, concepciones confusas e incompletas, lo mismo que interpretaciones erróneas, [Martínez-Chavanz, 1978]. El académico francés y director del Observatorio de París, B. Baillard, presentó algunas objeciones a la teoría de la aberration de Garavito. Sin embargo, las investigaciones en física de Garavito representan un esfuerzo loable, serio y meritorio. Después de Caldas, en el siglo XIX, quien fue autodidacta, Garavito fue el primer físico colombiano del siglo XX en adelantar un programa de investigación digno de ese nombre, a pesar de las condiciones reinantes, ya mencionadas, poco propicias y adecuadas para proseguir un trabajo auténtico y fecundo de investigación científica en el país. Si Garavito fue el representante colombiano de la física clásica, Rozo fue el de la física relativista y cuántica hasta los años sesenta.

#### 4.5 LAS CONCEPCIONES DE ÁLVAREZ

Aquí nos detendremos un instante sobre Jorge Álvarez Lleras, porque él fue uno de los representantes más notables de los miembros de la élite colombiana -si se consideran los puestos que él controlaba, los medios de que disponía, y la influencia que ejercía- que tomaron la cabeza de la oposición oficial, no sólo contra las geometrías no euclidianas, sino también contra la teoría de la relatividad y la teoría cuántica.

Álvarez encarnó la corriente antimodernista de la física. La actividad divulgativa de Álvarez en el dominio científico y filosófico tenía *grosso modo* la orientación siguiente: 1) difundir y defender la obra de Garavito; 2) combatir la física moderna en tanto que generadora de ideas abstractas, de nuevos formalismos y de concepciones no clásicas. Para llevar a cabo su tarea, no ahorró los medios que estaban bajo su control.

Álvarez estaba bien informado, al menos en los rasgos generales, de los nuevos fenómenos y problemas de la física moderna, [Álvarez, 1937]. Pero él no comprendía que algunos hechos que resistían a las explicaciones

clásica exigían nuevas hipótesis osadas y de nuevos conceptos en vistas de una unificación satisfactoria. Él prefirió permanecer en la retaguardia de un clasicismo de lo más dogmático y ortodoxo, [Álvarez, 1932a, 1932b], profesando una idolatría a su maestro Garavito, su “guía” y “mentor” y a su pensamiento, "Evangelio de certeza" (sic), [Álvarez, 1937]. «La tarea de Garavito, expresó Álvarez, en el campo de la Óptica Astronómica ha sido esencialmente conservadora y destinada a salvar viejos principios, [...]. Él pudo demostrar que hechos aparentemente en contradicción, en el dominio de la Óptica, pueden fácilmente ponerse de acuerdo, explicándolos dentro de la mecánica clásica y de acuerdo con la vieja geometría euclidiana, sin necesidad de echar por tierra esos dos pilares milenarios sobre que han descansado hasta ahora la razón humana: El Tiempo y el Espacio», [Álvarez, 1936]. Además, sostenía que la física moderna era un conjunto caótico de hipótesis y de teorías, “una ciencia en bancarrota”, donde «la obra de Lorentz, de Minkowski y de Einstein tiene un alcace igual a la de Lenine» (sic), [Garcés, 1920; Álvarez, 1915, 1925, 1926, 1932b, 1938, 1941a; Álvarez et Borda, 1938; Nuevas teorías, 1945]. Sus declaraciones más aparatosas datan de los años 1925 y 1945.

En 1940, Álvarez, con una retórica y un estilo platónico, emprendió, con un ataque frontal, una cruzada contra la física moderna bajo la forma de un diálogo a cuatro voces, que llamó “El último diálogo de Platón”, [Álvarez, 1940, 1941b, 1942b]. Esta caricatura científico-filosófica mereció una respuesta de Rozo bajo el título de Hedimaquia, [Rozo, 1941], donde éste muestra con una justa divertida que se trata de ideas anacrónicas e indefendibles. A su vez el arquitecto F. Weil contraatacó, [Weil, 1943], tomando como blanco no sólo la Hedimaquia, sino otra publicación de Rozo, [Rozo, 1938; Duarte, 1946]. De manera sucinta, Weil estima que el espacio de cuatro dimensiones es un «crimen matemático» y tomar la velocidad de la luz igual a la unidad es digno de un «milagro». En su diatriba, éste afirma que Rozo quiere superar los «pseudo-intelectuales como Einstein, Minkowski y Eddington» (sic), y termina su amalgama invocando un apocalíptico «derrumbe de nuestra civilización». La revista de la Academia publicó varias reacciones a esta logomaquia, por ejemplo, una de uno de sus lectores (entre otros ingenuos) de Medellín, [Correspondencia, 1940], quien encontraba, después de un examen “de cerca”, que Garavito y Weil estaban de acuerdo con él. Otro ingeniero pretendió refutar la relatividad, [L. A. B., 1939]. Esto ilustra que la revista no disponía de un comité editorial o de un referato idóneo capaz de evitar ese espectáculo.

Álvarez no veía ningún tipo de antagonismo entre la física clásica y la religión, [Álvarez, 1932a, 1937]: «Todo conflicto entre la religión y la verdadera ciencia positiva es imposible [...]. El determinismo científico no interfiere de ninguna manera con los principios morales y religiosos. [...El

hecho que...] los fenómenos naturales obedezcan a las leyes mecánicas no implica la de que no obedezcan a algo que sin contradecirlos, escapa a ellas».

En 1946, la revista de la Academia publicó una traducción de un artículo de Einstein, [Einstein, 1946]. Álvarez la precedió de una nota introductoria serena, ponderada y equilibrada, [Álvarez, 1946]. Al comienzo da la impresión de haber cambiado su actitud antirrelativista; mas infortunadamente, al final de su comentario regresa a los absolutos newtonianos y a su escepticismo referente a las nuevas ideas. Su antirrelativismo primario subsistió aún hasta su muerte, acaecida en 1952.

#### 4.6 LA ASIMILACIÓN Y LA DIFUSIÓN DE LA FÍSICA RELATIVISTA

Al mismo tiempo que Álvarez propagaba su antirrelativismo obsesivo, algunos escritos sobre la relatividad comenzaron a aparecer. En ese momento reinaba la ausencia de la enseñanza de la física en tanto que ciencia autónoma -otro tanto sucedía con las matemáticas-, en las universidades colombianas, esto implicaba una carencia en el aprendizaje de la relatividad y, en general, de la física moderna. Esas disciplinas eran, por consiguiente, un tema de estudio sólo accesible a una pequeña élite de autodidactas, casi todos ingenieros.

Después de las divulgaciones hechas por Moreux (1922), Rozo (1923), Cabrera (1926), Einstein (1928, a través de una traducción, [Einstein, 1917]) y de Vallejo, [Vallejo, 1933, 1934a], la difusión continúa con las traducciones de obras del propio Einstein, [Einstein, 1920, 1927, 1930, 1935], las cuales suscitaron otras publicaciones en Colombia, [Vallejo, 1934b; Einstein, 1946].

Doce años después de la primera divulgación de Rozo, en 1923, apareció el primer artículo original de investigación sobre la relatividad, [Noguera, 1935]. El autor, por vía deductiva, trata de obtener las propiedades del espacio curvo de la relatividad general, seguidamente describe el comportamiento gravitatorio de la luz. Su rigor deja mucho que desear.

Algunos años más tarde, Rozo elaboró un marco teórico común a la física clásica y a la física moderna, denominada “La entidad de la Física”, [Rozo, 1938], cuyo lenguaje es imaginativo pero obsoleto. En la Academia de Ciencias se discutió y se procedió a publicar las críticas que le fueron formuladas, [Nota 1938a; Notas de la dirección 1939], entre ellas las del arquitecto F. Weil, domiciliado en Caracas, [Weil, 1943], la cual es oportuna al principio, pero pronto gira hacia el antirrelativismo más crudo e insolente. La réplica de Rozo no se hizo esperar, [Rozo, 1943, 1961a; Duarte, 1946]. La Academia aprovechó la ocasión para reafirmar su credo contra los conceptos de Rozo «reñidos con la opinión ortodoxa, por decirlo así, de la

Academia», [Notas de la dirección 1939].

En 1954, Rozo publicó una deducción de las transformaciones de Lorentz y de la ecuación de Schrödinger, [Rozo, 1954b]. Asimismo trató de obtener una deducción de la métrica de Schwarzschild, [Rozo, 1956], seguida de aplicaciones clásicas; todo estaba acompañado de rudimentos sobre tensores relativistas y de una amplia bibliografía. Su última publicación trataba de las ondas de gravitación y de las ondas cuánticas, [Rozo, 1961b]. Rozo fue un valioso vector en la "transculturización" de la relatividad, [Rozo, 1953, 1954a].

La relatividad general y las tentativas de teorías unitarias (que exigen conocimientos de álgebra y análisis tensorial, de geometría diferencial riemanniana y no riemanniana, y de espacios generalizados) tuvieron una modalidad de asimilación y de difusión muy diferente a la de la relatividad especial. Por ejemplo, los tensores fueron mencionados por primera vez por Rozo, [Rozo, 1923], fueron divulgados de nuevo a partir de 1936, [Campillo, 1936, 1940; Rozo, 1956; Poveda, 1961]. Los cuaterniones y sus aplicaciones al cálculo vectorial y a la geometría analítica fueron introducidos mucho antes, [Soza, 1890]. Debemos anotar que en 1931 llegó a Bogotá la *Enciclopedia Ilustrada Universal*, colosal enciclopedia española de 70 volúmenes (hoy cuenta más de 112); su notable artículo *Relatividad*, de 57 páginas, [Terradas, 1923], contiene una exposición muy completa sobre la relatividad, con una buena introducción sobre los tensores. La parte de la relatividad general refleja el puro estilo einsteiniano.

Nuestro estudio se detiene en 1960. El periodo que sigue es muy rico e importante, y merece un estudio a parte. Resumamos algunos hechos sobresalientes. La conmemoración mundial del centenario del nacimiento de Einstein, en 1979, fue celebrada en Colombia: en la Universidad de los Andes de Bogotá, [Moore, 1979], y en la Academia de Ciencias, [Academia, 1981]. En un acto solemne ésta reconoció por la voz de su presidente, [Arias, 1981], su pasado antirrelativista, retrógrado y oscurantista. La revista los *Anales de Ingeniería*, ahora más técnica, no ha publicado más sobre relatividad desde 1954, también se asoció a la celebración, [Isaza, 1979].

A partir de 1960, las universidades abrieron departamentos de física y esta disciplina ha sido estudiada por numerosos estudiantes. A finales del siglo XX, se inició la maestría (1980) y el doctorado (1990). Muchos departamentos han sido transformados en institutos, allí se imparten, entre otros, cursos de geometría diferencial, álgebra multilineal, análisis tensorial, análisis exterior, relatividad especial y general, y de cosmología relativista. La relatividad es enseñada de manera autónoma a partir de 1980. Actualmente algunas universidades colombianas organizan cursos, talleres, escuelas y coloquios sobre temas de matemáticas y física ligados a la relatividad y a las partículas (topología, fibrados, grupos topológicos, geometría diferencial, teorías de gauge, compactificación, supercuerdas,

etc.). Algunas investigaciones han sido publicadas en la *Revista Colombiana de Física* [Rev. Col. de Fís., 1974]. Un Centro Internacional de Física funciona en Bogotá desde 1980 y muchas universidades han celebrado convenios con otras universidades extranjeras par permitir intercambios e investigaciones conjuntas.

## 5 LA RECEPCIÓN COMPARATIVA DE LA RELATIVIDAD EN FRANCIA, EN BRASIL Y EN COLOMBIA

La recepción de la teoría de la relatividad tuvo lugar en el Brasil a principio de de 1920 y fue, como en muchos otros países, objeto de debates científicos y filosóficos, tanto en los medios universitarios como, en general, en el público. Dichos debates incidieron en la constitución de una Academia de Ciencias, y jugaron un papel importante en la formación de una comunidad científica orientada hacia la investigación científica.

Las circunstancias de la recepción de la teoría de la relatividad en el Brasil fueron marcadas por dos eventos significativos. El primero fue la realización en Sobral, en le noreste del Brasil, de una de las dos observaciones del eclipse de 1919, llavadas a cabo por una misión astronómica bajo la dirección de Eddington, para verificar la predicción de la teoría de la relatividad general sobre la curvatura de los rayos luminosos que pasan cerca del Sol. El segundo hecho notable fue el viaje que Einstein emprendió hacia la América del Sur, en 1925, y que lo llevó a visitar el Brasil, donde se organizó un encuentro con los científicos brasileños), [Paty, 1999].

El estudio de la recepción de las nuevas concepciones físicas, a partir de los textos publicados y de las diversas manifestaciones que tuvieron lugar, que muestran los contenidos científicos en juego, es instructivo porque nos informa sobre el estado de la comunidad científica del país en esa época, sobre las tendencias de una tradición científica local en formación y de las relaciones de influencia entretenidas con las tradiciones de los países europeos, en particular la «tradición francesa». En este caso, uno de los rasgos impactantes de esta influencia, es la de haber posibilitado, antes que todo, la vía de la «física matemática», en contraste (parcial) con la física teórica. Desde este punto de vista, la influencia de los discípulos de Poincaré y de las ideas de este último jugaron un papel importante en la aceptación de la teoría, más que la influencia de Langevin, que fue importante en Francia (además de haber sido él quien enseñó la nueva teoría a los mismos matemáticos), [Paty, 1987].

Enfin, en el Brasil, la difusión de la teoría de la relatividad y los debates que ella suscitó fueron un punto importante para la cristalización de la investigación científica y su organización en la Academia de Ciencias, en

primer lugar, hecho este que, desde el principio, jugó un papel central dentro de esta dinámica. Las relaciones de la ciencia y de las élites políticas y culturales fueron muy diferentes del caso de Colombia.

## 6 CONCLUSIONES

La difusión de la física comenzó en Colombia en la primera mitad del siglo XVII; se inició en los centros universitarios con la enseñanza de la escolástica destinada principalmente a la formación de teólogos. La física figuraba como un apéndice del curso de filosofía que resumía muy brevemente la *Física* de Aristóteles. Durante la segunda mitad del siglo XVIII se operó un cambio radical con la introducción de la enseñanza de los *Principia* de Newton. Habría que esperar todavía un siglo para que la primera escuela de ingenieros, y seguidamente las universidades, hiciesen su aparición y que una enseñanza, propiamente dicha, de la física y de la matemática se llevara a cabo. La influencia francesa fue determinante en este periodo; no sólo en la organización y la programación de los cursos, sino también a través de los libros y los profesores.

Hasta la primera mitad del siglo XX, una élite ilustrada de ingenieros cultivaron y enseñaron la física en las universidades, privilegiando, ciertamente, las aplicaciones prácticas en detrimento de la teoría, cosa fácilmente comprensible puesto que las únicas carreras “científicas” eran las de ingeniería. La física no era absolutamente solicitada para su propio desarrollo en tanto que conocimiento en sí -la investigación pura era casi inexistente-, ni para las necesidades externas -el incipiente desarrollo industrial y técnico-; la única demanda externa hacia la física era simplemente la de considerarla como una materia más del plan de estudios. Los tratados, las monografías y las revistas científicas especializadas eran escasos, y los que llegaban eran con atraso. Las novedades que circulaban eran de segunda mano. Los laboratorios eran modestos y deficientes. Finalmente, la física clásica fue privilegiada, lo mismo que su base filosófica, implicando la necesidad y la perennidad de la física newtoniana. En todo caso, esto significó un obstáculo frente a la asimilación del desarrollo de la física moderna, sobre todo en el caso de la relatividad, que hemos aquí tomado como ejemplo.

Dos revistas, una de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y la otra de la Academia de Ciencias, jugaron un papel preponderante en la difusión de la física moderna en Colombia. La primera publicó regularmente artículos de divulgación sobre la física atómica, nuclear y electrónica; sobre las teorías relativistas y cuánticas; y también sobre las contribuciones de algunos colombianos a la física. Ella publicó, en 1923, la primera síntesis sobre la teoría de la relatividad especial y general en Colombia. La revista de la

Academia lo hizo sólomente para la relatividad especial, en 1946, y sirvió de caja de resonancia del debate relativista en el país. Ella tomó oficialmente el partido de los anti-relativistas, representado por J. Garavito Armero y su alumno J. Álvarez Lleras.

El primer difusor y defensor de las ideas de Einstein fue el ingeniero Darío Rozo Martínez. A partir de 1923, la física relativista conoció un periodo de divulgación de la parte de ingenieros autodidactas en física moderna, no en el marco de los estudios universitarios, sino sólomente en el ambiente de una cultura científica global. Se insistía muchas veces en los aspectos más generales de la relatividad, sobre sus consecuencias epistemológicas y sobre sus apariencias paradójicas. Muy pocos trabajos de investigación relativista fueron emprendidos y publicados.

Fue sólomente, a partir de 1960, cuando las universidades colombianas ofrecieron la posibilidad de emprender los estudios de física propiamente dicha, y de poder iniciarse en la investigación. Así comienza un segundo periodo en la historia de la enseñanza y de la difusión universitaria de la física y, desde luego, la enseñanza autónoma de la teoría de la relatividad devenía posible, actividad que sólomente sería sistematizada más tarde (en los años de 1980). En 1979, la Academia hizo su autocrítica por la actitud negativa que su revista tomó frente a la recepción y difusión de la relatividad. No se reprocha la actitud en sí hacia el debate mismo, sino la unilateralidad y subjetividad que imperó.

El caso del Brasil, como ejemplo comparativo de receptividad, es importante: Por la notable influencia francesa, tanto filosófica como físico-matemática; por haber sido elegido como sitio para una de las verificaciones de las predicciones de la teoría general de la relatividad; además, por haber sido visitado por el propio Einstein y por las consecuencias del encuentro de éste con la emergente comunidad científica y su nueva orientación impresa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA Y NOTAS

### ABREVIACIONES:

*Ana. de Ing.: Anales de Ingeniería.*

*Ann. der Phys.: Annalen der Physik.*

*Arch. Néerl. Sc. Ex. Nat.: Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles.*

*C. R. Acad. Sci. Paris: Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris.*

*(L. R. C. B. N)* de Bogotá: Libros Raros y Curiosos de la Biblioteca Nacional, Bogotá.

*Rev. Acad. Col. de Cienc.: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*

*Físicas, Exactas y Naturales.*

*Phil. Mag.: Philosophical Magazine.*

*Quipu, Rev. Lat. Hist. Cienc. Tec.: Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología.*

*Rev. Col. de Fís.: Revista Colombiana de Física.*

*Versl. Kon. Akad. Wet. Amst.: Verslagen Koninklijke Akademie van Wetenschappen Amsterdam.*

---

ACADEMIA, 1981: *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 15 (1981) 79, 83, 87.

ACOSTA VILLAVECES, Jorge (1951): *Análisis Matemático*, Edit. Minerva, Bogotá, 1951.

ALBIS, Víctor y SORIANO LLERAS, Luis (1977): The work of Indalecio Liévano in the foundations of the Real Number System. *Historia mathematica* 3 (1977) 161.

ALBIS, Víctor (1997): Vicisitudes del postulado euclídeo en Colombia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 21 (80) (1997) 281.

ALBIS, Víctor y MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1987): Las investigaciones meteorológicas de Caldas. *Quipu, Rev. Lat. Hist. Cienc. Tec.* México, 4 (1987) 413. También en [Arboleda, 1994a].

ALGUNOS CONCEPTOS (1938): Algunos conceptos de la prensa periódica nacional sobre esta Revista. Importante publicación científica. Tomado de *El Siglo*, Bogotá, feb. 28 de 1938. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 157.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1915): Importante informe relativo a varias labores científicas del doctor Julio Garavito. *Ana. de Ing.* 23 (1915) 89. También en la *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1936) 66.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1920, 1938): Julio Garavito (Ensayo biográfico y literario). *Ana. de Ing.* 27 (1920) 362; *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 313.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1925): La ciencia en bancarrota. *Ana. de Ing.* 32 (1925) 645.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1926): El doctor J. Garavito y las teorías eléctricas modernas. Crítica a la hipótesis de los electrones. *Ana. de Ing.* 34 (1926) 230.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1931): Reseña histórica del Observatorio Astronómico y Meteorológico de Bogotá. *Ana. de Ing.* 39 (1931) 274; *Rev. Acad. Col. de Cien.* 2 (1938) 283.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1932a): La mecánica y la filosofía natural. Nuevos aspectos del determinismo científico. *Ana. de Ing.* 40 (1932) 199; *Dyna II* (1934) 45, 69; *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 446.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1932b): La crisis de la Física Moderna y nuestra crítica a la hipótesis de los electrones. *Ana. de Ing.* 40 (1932) 481.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1936): Explicación preliminar. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1936) 51.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1937): El positivismo en la física moderna y la evolución de la ciencia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 314.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge et BORDA, T. A. (1938): El centenario del fundador del electromagnetismo y la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 188.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1938): Los fundamentos del electromagnetismo y las teorías eléctricas modernas. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 104.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1940): El último diálogo de Platón. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 3 (1940) 262.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1941a): Notas de la dirección : La ciencia desinteresada. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941) 258.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1941b): Epístola aclaratoria de un diálogo de Platón. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941) 363.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge, (1942a): La obra máxima de Garavito. *Rev. Acad. Col. Cienc.* 5 (1942) 148.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1942b): El último diálogo de Platón y una aclaración necesaria. *Rev. Acad. Col. Cienc.* 5 (1942) 139.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1942c): Glosas técnicas al diccionario de la Real Academia Española de la lengua. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 5 (1942) 171, 308; 5 (1943) 308.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1945): La inauguración de un busto de Garavito en el Observatorio Astronómico Nacional. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 6 (1945 ) 429. Algunos errores contenidos en el discurso fueron indicados oportunamente por el ingeniero, domiciliado en la ciudad de Pereira, A. J. Ángel E., *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 6 (1946) 591.

ÁLVAREZ LLERAS, Jorge (1946): Nota, una valiosa opinión sobre Newton y su obra. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 7 (1946) 7.

ÁNGEL E., A. J. (1946): La teoría de la relatividad especial de A. Einstein. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 7 (1946) 178.

ANÓNIMO, S. J. (1755): *Metaphysica Aristotelica Physica Specialis et Curiosa*. Et haec dicta sint in honorem Intemeratae Divinae Sapientiae Matris. Sancti Parentis Ignatii... Sub auspiciis Patronum nrûm. Praecipue Sancti Narcissi, Sancti Aloysii Gonzaga. Sancti Augustini. 130 fols. (L. R. C. B. N.) de Bogotá, N° 97. La portada y las hojas del principio y final (3 y 6) fueron sustraídas, lo mismo que dos hojas (folios 36 y 63). Fecha probable: 1755.

ARBOLEDA, Luis Carlos (1992): Science and nationalism in New Granada on the eve of the revolution of independence, en Petitjean et al. 1992.

ARBOLEDA, Luis Carlos y Díaz-Piedrahita, Santiago (Eds.) (1994a): Francisco José de Caldas y Thenorio 1768-1816. Molinos-Velásquez edit. Bogotá, 1994.

ARBOLEDA, Luis Carlos y ANACONA, Maribel (1994b): Las geometrías no euclidianas en Colombia. La apuesta euclidiana del profesor Julio Garavito (1856-1920). *Quipu, Rev. Lat. Hist. Cienc. Tec.* México, 11 (1994) 7.

ARBOLEDA, Luis Carlos (1996): Cauchy en Colombie : mathématiques utiles ou mathématiques théoriques ? En [Petitjean, 1996].

ARBOLEDA, Luis Carlos (2000): Humboldt en la Nueva Granada. Hipsometría y territorio. *Quipu, Rev. Lat. Hist. Cienc. Tec.* México, 13 (2000) 53.

ARCINIEGAS, Germán (1921): Las geometrías no euclídeas y las objeciones de Garavito. *Rev. Universidad* 2 N° 21 (1921), dirigida por G. Arciniegas.

ARGENSOLA, L. L. (1953): El éter de los físicos. *Ana. de Ing.* 57 (1953) 8.

ARIAS DE GREIFF, Jorge (1981): Palabras del presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, doctor Jorge Arias de Greiff. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 15 (1981) 77.

BIBLIOGRAFÍA, (1925, 1926): *Ana. de Ing.* 32 (1925) 709; 34 (1926) 348.

CABE, J. Mc. (1936): Einstein y la Relatividad. Trad. del inglés por B. S. R. *Dyna IV* (1936) 139.

CABRERA, Blas (1926): El problema del átomo. *Ana. de Ing.* 34 (1926) 466.

CAMPILLO, C. M. (1936): Esfuerzo y deformación. Estudio tensorial de la elasticidad de los cuerpos. *Ana. de Ing.* 44 (1936) 435.

CAMPILLO, C. M. (1940): Relaciones entre el esfuerzo y la deformación. *Ana. de Ing.* 48 (1940) 342.

CORRESPONDENCIA, (1940): Conceptos de la prensa periódica nacional y extranjera. Carta desde Armenia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1940) 97, 115, 116, 117-119; 6 (1945) 406.

DIRECCIÓN (la), (1937): Comentario referente al cuarto escrito de Garavito sobre Óptica matemática. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 345.

DUARTE, F. J. (1946): Correspondencia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 6 (1946) 593.

EDDINGTON, Arthur (1920): *Space time and gravitation*. Cambridge University Press, Cambridge, 1920. Traducción española: *Espacio, tiempo, gravitación*. Calpe, Madrid, 1922. Trad. francesa: *Espace, Temps, Gravitation*. Hermann, Paris, 1923.

EINSTEIN, Albert (1905): Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Ann. der Phys.* (4) 17 (1905) 891. Trad. inglesa en [Einstein, 1913]. Trad. española en [Einstein, 1950]. Trad. francesa por Maurice Solovine: *Sur l'électrodynamique des corps en mouvement*. Gauthier-Villars, París, 1925; ver [Einstein, 1972]. Ver también CPE, OSE y OCE, [Einstein, 1987-1998; 1988; 1989-1993].

EINSTEIN, Albert (1907): Über das relativitätsprinzip und die aus demselben gezogene Folgerungen, *Jahrbuch der Radioaktivität und Electronik*, 4 (1907) 411. Trad. inglesa: "Einstein's comprehensive 1907 essay on

relativity,” part I, II y III. *American Journal of Physics* 45 (1977) 512, 811, 899. Ver también CPE [Einstein, 1987-1998]. En francés: “Du principe de relativité et des conséquences tirées de celui-ci”, en OCE [Einstein, 1989-1993].

EINSTEIN, Albert (1913): *Das Relativitätsprinzip*. Preparado por A. Sommerfeld. Reeditado: *Das Relativitätsprinzip*. Teubner, Leipzig, 1922. Trad. inglesa: *The principle of Relativity*. Methuen, London, 1923; Dover, New York, 1952. Se trata de una reproducción de artículos de Michelson, Lorentz, Einstein, Minkowski y Weyl. Poincaré no figura en ninguna de sus ediciones, aunque sus contribuciones fundamentales a la relatividad se sitúan entre las de Lorentz (1895, 1904) y las de Einstein (1905).

EINSTEIN, Albert (1917): *Über die spezielle und die allgemeine relativitätstheorie, Gemeinverständlich*, Braunschweig, Berlín, 1917. Trad. francesa: *La théorie de la relativité restreinte et générale*, Gauthier-Villars, París, 1921, 1954, 1969. Trad. española: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, Revista de Matemáticas Hispanoamericana, (1921) 194-199 y siguientes; *La teoría de la relatividad al alcance de todos*. Madrid, 1923. Trad. en Colombia: *La teoría de la relatividad restringida y general*, Revista de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería (Bogotá) 1 (1928) 116; 2 (1929) 30, 50, 169, 311, 356, 393, 449.

EINSTEIN, Albert (1920): *Aether und Relativitätstheorie*. (Conferencia dada a la Universidad de Leiden el 5 de mayo de 1920). Springer, Berlín, 1920. Trad. inglesa: *Ether and relativity*. Methuen, London, 1922. Trad. francesa: *L'éther et la théorie de la relativité*. Gauthier-Villars, París, 1921, 1972. También en OCE, vol. 5, [Einstein, 1989-1993].

EINSTEIN, Albert (1927): Isaac Newton. *Manchester Guardian*, 19 de marzo de 1927. También en Smithsonian Institution, Report for 1927.

EINSTEIN, Albert (1930): Das Raum-, Feld-, und Aether-problem in der Physik. 1930. Retomado en *Mein Weltbild*, Querido, Amsterdam, 1934, edición 1960. Trad. francesa: *Comment je vois le monde*, Flammarion, París, 1934, 1958, 1969. Trad. inglesa: *The world as I see it*, New York, 1934. También en *Ideas ans Opinions*, Crown, New York, 1981.

EINSTEIN, Albert (1935): El problema del espacio, el campo y el éter en la física. Traduction. *Dyna* III 2 (1935) 52.

EINSTEIN, Albert and Infeld, Leopold (1938): *The evolution of physics: the growth of ideas from early concepts to relativity and quanta*. Simon &

Schuster, New York, 1938. Trad. española: *La física aventura del pensamiento*, Losada, Buenos Aires, 1939. Esta obra inspiró otra del mismo estilo: *La Relatividad y los Quanta* de Óscar Miró Quesada, Empresa Editora Zig-Zag, Santiago de Chile, 1939.

EINSTEIN, Albert (1946): Isaac Newton. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 7(1946) 8.

EINSTEIN, Albert (1950): *La Relatividad, memorias originales*. Emecé, Buenos Aires, 1950.

EINSTEIN, Albert (1972): *Réflexions sur l'électrodynamique, l'éther, la géométrie et la relativité*. Gauthier-Villars, París, 1972.

EINSTEIN, Albert (1987-1998): *Collected Papers of Albert Einstein (CPE)*. Stachel, John *et al.* (dir.), 7 vol. editados. Pinceton University Press, Princeton, 1987.

EINSTEIN, Albert (1988): *Opere scelte (OSE)*. Bellone Enrico *et al.* (dir). Bollati Boringhieri editore, Torino, 1988.

EINSTEIN, Albert (1989-1993): *Œuvres Choiesies d'Einstein (OCE)*. Balibar, Françoise *et al.* (dir.), 6 vol. Editions du Seuil, Paris, 1989.

*El Tiempo* (1940) julio 15. Ver también [Correspondencia seleccionada, 1940].

EULER, Leonhard (1750): Académie de Saint-Pétersbourg (1750). *Œuvres complètes. Opera Omnia*, Genève, 1942.

F. P. (1940): Sui principi della Meccanica. Trad. de la revista italiana *La Técnica Fascista* (25 dic. 1940). *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941)445.

FRESNEL, Augustin (1818): Lettre à Arago «Sur l'influence du mouvement terrestre dans quelques phénomènes d'optique». *Annales de Chimie et de Physique* 9 (1818) 57, 286.

FREUNDLICH, Erwin F.(1916): *Einsteinschen Gavitationstheorie*, Springer, Berlin, 1916. Trad. inglesa: *The foundations of Einstein's theory of gravitation*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1920. Trad. española: *Los fundamentos de la teoría de la Gravitación de Einstein*. Calpe, Madrid, 1922.

GARAVITO ARMERO, Julio (1912a): Nota sobre la dinámica de los electrones. *Ana. de Ing.* 19 (1912) 361; *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938)13.

GARAVITO ARMERO, Julio (1912b): *Teoría de la aberración de la luz.* Imprenta del Estado mayor general. Bogotá, 1912. También en la *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1936) 59.

GARAVITO ARMERO, Julio (1913): *Nota sobre la óptica matemática (crítica de la hipótesis ondulatoria). Explicación de algunos fenómenos ópticos que se relacionan con la astronomía: aberración y refracción.* Taller del estado mayor general. Bogotá, 1913. También en la *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 145.

GARAVITO ARMERO, Julio (1916a): La paradoja de la Óptica Matemática. Teoría de la aberración y de la refracción de la luz. Imprenta Nacional, Bogotá, 1916. También en *Ana. de Ing.* 23 (1915) 98, 166; 23 (1916) 209, 274; *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 242.

GARAVITO ARMERO, Julio (1916b): Nota sobre la fórmula fundamental de la trigonometría plana no euclídea en la geometría hiperbólica. *Ana. de Ing.* 24 (1916) 222; 24 (1917) 356, 465; *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 3 (1939) 14.

GARAVITO ARMERO, Julio (1917): ¿Bancarrotas de la ciencia? *Ana. de Ing.* 25 (1917) 101, 203.

GARAVITO ARMERO, Julio (1920a): Óptica Astronómica. Teoría de la refracción y de la aberración anual. *Ana. de Ing.* 28 (1920) 93, 191. También en la *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 1 (1937) 334.

GARAVITO ARMERO, Julio (1920b): *Óptica Astronómica. Teoría de la refracción y de la aberración anual.* Editorial Águila Negra, Bogotá, 1920.

GARAVITO ARMERO, Julio (1938): Notas sobre las geometrías planas no euclídeas. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 566.

GARCÉS, E. (1920): Discurso en la tumba de Garavito. *Ana. de Ing.* 27 (1920) 420; 30 (1922) 60. Otros homenajes se encuentran en la *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 176; *Ana. de Ing.* 27 (1919) 244; *Ana. de Ing.* 51 (1943) 148; 54 (1945) 464; 54 (1945) 476.

GÓMEZ, Laureano (1921): Elogio del Dr. Garavito. *Ana. de Ing.* 29 (1921) 375. El autor, orador, político e ingeniero fue presidente de Colombia

(1950-1953).

HERRERA RESTREPO, Daniel (1979): La Filosofía en la Colonia. Ideas y Valores. Universidad Nacional, Bogotá; n° 55-56 (agosto de 1979) 59-81.

ISAZA BERNAL J. (1979): En el centenario de Einstein. Hacia la teoría de la relatividad por los relojes de luz. *Ana. de Ing.* 87 (1979) 35.

IVALDI, G. (1938a): Relatividad y éter. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 123.

IVALDI, G. (1938b): Importante carta sobre cuestiones científico-históricas. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 640.

L. A. B. (1939): El profesor Francisco Weil refuta las teorías de Einstein. y enuncia una nueva ciencia natural. *Ana. Ing.* 47(1939)913.

LALLEMAND, Charles (1928): La teoría de la relatividad y las experiencias del profesor Miller. *Ana. de Ing.* 36 (1928) 46.

LARMOR, Joseph (1900): *Aether and Matter*. Cambridge, 1900.

LÉRTORA MENDOZA, Celina Ana (1995): *Fuentes para el estudio de las Ciencias Exactas en Colombia*, Santa Fe de Bogotá, D. C. 1995.

LORENTZ, Hendrik Antoon (1886): De l'influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes lumineux. *Versl. Kon. Akad. Wet. Amst.* 2 (1886) 297; *Arch. Néerl. Sc. Ex. Nat.* 21 (1887) 21.

LORENTZ, Hendrik Antoon (1892): The relative motion of the earth and the ether. *Versl. Kon. Akad. Wet. Amst.* 1 (1892) 74. Allí se comparan las soluciones a la aberración dadas por Fresnel, Stokes [Stokes, 1845] y el propre Lorentz.

LORENTZ, Hendrik Antoon (1895): *Versuch einer theorie der electrischen und optischen erscheinungen in bewegten körpern*. E. J. Brill, Leiden, 1895. También en *Collected Papers*, 1937. Allí se exhibe la teoría de todos los fenómenos electromagnéticos y ópticos de los medios y cuerpos en reposo o en movimiento en el primer orden en  $\beta = v/c$ , y una nueva explicación ondulatoria de la aberración.

LORENTZ, Hendrik Antoon (1904): *Versl. Kon. Akad. Wet. Amst.* 6 (1904) 809. *Collected Papers*, Nyhoff, La Haye, 1936. Vol. 5, p.172.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, REGINO (1978): Consideraciones históricas y científicas sobre los trabajos de Garavito. Investigación auspiciada por Colciencias, París, 1978. No publicada.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1984): La física en Colombia (la Colonia 1550-1819). Informe de investigación. Colciencias, Bogotá, 1984.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1985): El copernicanismo y el newtonianismo en Colombia. Informe de investigación, Colciencias, Bogotá, 1985.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1986): Caldas, el hipsómetro y la física de su tiempo. Informe de investigación, Colciencias, Bogotá, 1986.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1987): Ensayo sobre la penetración de las ideas relativistas y cuánticas en Colombia. Informe de investigación. Universidad de Antioquia. Medellín, 1987.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1988): La física en Colombia de 1860 a 1960. Multicopias no publicadas. 1988.

Martínez-Chavanz, Regino (1993): *La física en Colombia: su historia y su filosofía. Historia Social de la Ciencia en Colombia*, Tomo IV, *Física y Química*, Bogotá, 1993. Los trabajos [Martínez-Chavanz, 1984, 1985, 1986] están reunidos en este libro.

MARTÍNEZ-CHAVANZ, Regino (1995): Humboldt y Caldas: El encuentro de dos mundos. Kosmos, Alexander von Humboldt. Simposio conmemorativo. Planetario de Medellín, Octubre 13-15 de 1995.

MINKOWSKI, Hermann (1908): Raum und Zeit ; Göttinger Nachrichten, (1908) 53. También en *Gesammelte Abhandlungen von Hermann Minkowski*, Teubner, Leipzig, 1911. Vol. 2, p. 352.

MINKOWSKI, Hermann (1909): *Zeit. Phys.* 10 (1909) 104; Ver *Gesammelte Abhandlungen von Hermann Minkowski*, Teubner, Leipzig, 1911. Vol. 2, 431. También en [Einstein 1913].

MOORE, S. M. et al (1979): *Proceedings of the Einstein Centennial Symposium on fundamental Physics*. July 30-August 5, 1979. Universidad de los Andes, Bogotá, 1979.

- MOREUX, Th. (1922): La Física moderna. *Ana. de Ing.* 30 (1922) 48.
- NOGUERA, R. (1935): La curvatura del espacio. *Ana.de Ing.* 43 (1935) 59.
- NOTA (1938a): Nota sobre el estudio titulado "La Entidad de la Física" del Dr. D. Rozo M. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 511.
- NOTAS DE LA DIRECCIÓN (1938b): Publicación de un escrito que confirma los puntos de vista de Garavito. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 5.
- NOTAS DE LA DIRECCIÓN (1939): Concepto sobre un trabajo científico acogido por la Academia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 3 (1939) 4. Informe sobre un importante estudio. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 3 (1940) 349.
- NUEVAS TEORÍAS (1945): Nuevas teorías físicas. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 6 (1945) 440.
- PATY, Michel (1987): The scientific reception of Relativity in France. En Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Coll. "Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences", Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167.
- PATY, Michel (1999): La réception de la Théorie de la Relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, n° 143, 49 (1999) 331. Trad. en portugués (Brésil): A recepção da Relatividade no Brasil e a influência das tradições científicas europeias. Trad. por Ana Maria Alves, en Hamburger, Amelia Imperio; Dantes, Maria Amelia; Paty, Michel y Petitjean, Patrick (eds.): *A ciência nas relações Brasil-França.(1850-1950)*, Coleção « Seminários », EDUSP, São Paulo, 1996, p. 143-181.
- PATY, Michel (2002): Poincaré, Langevin, Einstein. *Épistémologiques*, Vol 2, n° 1, 2002.
- PETITJEAN, Patrick (1992); JAMI, Catherine et MOULIN, Anne Marie (edited by): *Science and Empires*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1992.
- PETITJEAN, Patrick édit. (1996): *Les sciences coloniales*. Orstom Edit. Paris,1996.
- POINCARÉ, Henri (1905a): Sur la dynamique de l'électron, C. R. Acad. Sci. Paris, 140 (1905) 1504; *Œuvres de Henri Poincaré*, Gauthiers-Villars, París, 1954. Vol. 9, p. 489.

POINCARÉ, Henri (1905b): Sur la dynamique de l'électron. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 21 (1906) 129; *Œuvres de Henri Poincaré*, Gauthiers-Villars, Paris, 1954. Vol. 9, p. 494.

POVEDA, Gabriel (1961): La noción de tensor. *Ingeniería y Arquitectura*, 14 N° 159 (1961) 24.

RESTREPO, José Félix de (1825): *Lecciones de Física*. Impreso por F. M. Stokes, Bogotá, 1825.

*Rev. Col. de Fís.* (1974): 10 (1974) 67; 14 (1980) 115; 14 (1980) 413.

Rozo Martínez, Darío (1923): Alcances de la teoría de Einstein. *Ana. de Ing.* 31 (1923) 21.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1938): La entidad de la Física. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 2 (1938) 422, 584; 3 (1939) 32.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1941): Diálogo de la Hedimaquia. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941) 305.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1943): Comentario referente a la carta anterior de Weil. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 5 (1943) 333.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1953): Conferencia sobre la relatividad. *Ana. de Ing.* 57 (1953) 5.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1954a): Nuevas ideas sobre la relatividad y sobre la formación de la materia. *Ana. de Ing.* 58 (1954) 5.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1954b): Las fórmulas de Einstein sin relativismo y la onda de De Broglie. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 9 (1954) 153.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1956): Nuevos conceptos de la relatividad einsteiniana. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 9 (1956) 253.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1961a): Alrededor de la teoría de la relatividad. Carta de D. Rozo a José Ignacio Ruiz. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 11 (1961) 252. La homogeneidad de las ecuaciones es aclarada y defendida por Rozo.

ROZO MARTÍNEZ, Darío (1961b): El campo de gravitación explicado por la ecuación de onda. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 11 (1961) 125.

SÁENZ, W. (1941): La continuidad de la materia, el problema del éter y sus consecuencias. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941) 239.

SAGNAC, Georges (1905): Sur la propagation de la lumière dans un système en translation et sur l'aberration des étoiles. *C. R. Acad. Scien. de Paris* 141 (1905) 1220; 152 (1911) 1835.

SÁNCHEZ, Botero Clara Helena (1994): Los tres famosos problemas de la geometría griega y su historia en Colombia. Epistemología, *Historia y Didáctica de la Matemática*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.

SOZA, Pedro J.(1890): Introducción elemental al cálculo de los cuaterniones. *Ana. de Ing.* 3 (1890) 253; 4 (1891) 116, 150, 211, 246, 312, 364; 5 (1891)3.

STOKES, George (1845): On the aberration of light. *Phil. Mag.* 27 (1845) 9.

TERRADAS, Esteban (1923): Relatividad. Artículo de la *Enciclopedia Ilustrada Universal*, Vol. 50 (1923) 455-512. Espasa-Calpe, Madrid, 1923.

VALLEJO, Joaquín (1933): La rotación de la Tierra. *Dyna* I, 3 (1933) 24; I, 4 (1933) 26; I, 5 (1933) 23; I, 7 (1933) 22.

VALLEJO, Joaquín (1934a): Guía para el estudio de la teoría de la relatividad. *Dyna* II (1934) 150.

VALLEJO, Joaquín (1934b): La evolución del concepto del éter. *Dyna* II (1934) 91.

VARIEDADES, (1941): Comentario sobre una obra matemática. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 4 (1941) 444.

VELÁSQUEZ, E. (1933): Óptica de Garavito. *Dyna* I, 2 (1933) 18; 3 (1933) 10; 4 (1933) 20.

VILLEGAS, Graciela (1992): *Sobre un curso de Cálculo Diferencial e Integral "a la Cauchy"* de Julio Garavito Armero, 1912. Tesis de Magíster. Universidad del Valle, Cali, Colombia, 1992.

WEIL, Francisco (1939a): El experimento de Michelson y la evolución de la Filosofía Natural. *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 3 (1939) 165.

WEIL, Francisco (1939b): Matemática y realidad. *Ana. de Ing.* 47 (1939) 947.

WEIL, Francisco (1943): Discusión académica. Crítica al estudio "La entidad de la Física". *Rev. Acad. Col. de Cienc.* 5 (1943) 331; 6 (1945) 328.