



Excmo. Ayuntamiento  
de  
Las Palmas de Gran Canaria

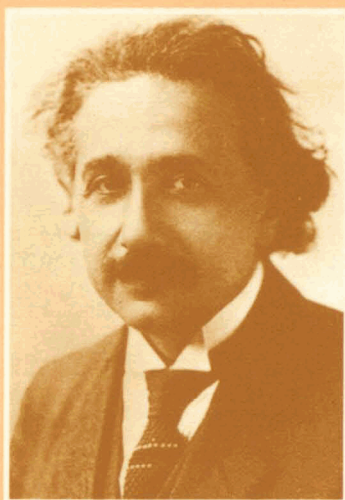
F. González de Posada

# BLAS CABRERA

ante Einstein y la relatividad



1878-1945



1879-1955

*Con 8 artículos de Blas Cabrera*



AMIGOS DE LA CULTURA CIENTÍFICA

El Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria  
en la  
"Conmemoración en Canarias del  
L Aniversario de Blas Cabrera"

En 1995 se conmemora el L Aniversario de la muerte del físico canario Blas Cabrera y Felipe (Arrecife, 1878; México, 1945) ocurrida en la capital azteca el día 1 de agosto durante su exilio.

Blas Cabrera, considerado "padre de la Física española" y autor de unos 180 trabajos publicados, entre éstos unos 14 libros, fue, también, una de las figuras claves de la España del primer tercio del siglo XX: catedrático y rector de la Universidad Central (hoy Complutense de Madrid); académico y presidente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid; Presidente de la Sociedad Española de Física y Química; Director del Laboratorio de Investigaciones Físicas y del Instituto Nacional de Física y Química; Rector de la Universidad Internacional de Verano de Santander (1934-36); académico de la Academia Española (de la Lengua). Su consideración internacional se pone de manifiesto con las siguientes consideraciones: académico de Ciencias de París, miembro del Comité Científico de las Conferencias Solvay (Bruselas), secretario del Comité Internacional de Pesas y Medidas (París), doctor *honoris causa* por la Universidad de Estrasburgo y numerosas distinciones en diferentes países de la América española.

Y Blas Cabrera estaba olvidado. Pocos sabían de él, muy poco se recordaba de su existencia y de su obra. El muy ilustre físico canario merecía no sólo un digno reconocimiento de homenaje sino la recuperación de su memoria para las generaciones actuales y futuras. Las instituciones canarias más representativas, con sus Universidades a la cabeza, acogieron gozosas las iniciativas cultural-científicas sugeridas por Amigos de la Cultura Científica en la tarea común de la "Conmemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera" durante 1995. Los actos se han iniciado con gran brillantez en su natal Arrecife (Lanzarote).

(Continúa en la solapa posterior)



**BLAS CABRERA**  
**ante Einstein y la relatividad**

**Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria**

**F. González de Posada**

**BLAS CABRERA**  
**ante Einstein y la relatividad**

**Con 8 artículos de Blas Cabrera**

**AMIGOS DE LA CULTURA CIENTÍFICA**

Título de la obra: *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma ni por cualquier medio, sin el permiso previo y por escrito del titular del Copyright.

© Francisco González de Posada  
Amigos de la Cultura Científica

Editan:  
Amigos de la Cultura Científica  
Departamento de Publicaciones de la E.T.S. de Arquitectura  
(Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid)

ISBN: 84-87635-13-X  
D.L.: M-6735-1995

Imprime: Ibergráficas, S.A.



# ÍNDICE

	<u>Página</u>
Presentación	9
<b>I. BLAS CABRERA ante Einstein y la relatividad</b>	<b>13</b>
1. Introducción: Apuntes biográficos de Cabrera y de Einstein	15
2. El joven físico Blas Cabrera (1901-1905): actitud crítica, espíritu abierto	27
3. Al margen de Einstein y de la relatividad especial (1906-1911)	33
4. La tardía pero progresiva aceptación de la relatividad especial: en torno al <i>Universo</i> de Minkowski (1912-1917)	45
5. Ante la relatividad general (1918-1922)	55
6. 1923: El libro <i>Principio de relatividad</i> y la venida de Einstein a España	67
7. La obra de Einstein fuera de la relatividad (1923-1928)	77
8. En torno a la cosmología (1929-1936)	83
9. Notas del exilio (1937-1945)	93
10. A modo de epílogo: una contextualización complementaria	97
<b>II. ANEXOS.</b>	<b>101</b>
A) TEXTOS DE BLAS CABRERA	103
A. I. “Aplicación a la Física de la Geometría de las cuatro dimensiones” Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles, Madrid (1914)	105

A. II. “La Teoría de la Relatividad” Conferencia en la Sociedad de Oceanografía de Guipúzcoa, San Sebastián (1921)	127
A. III. “Prólogo” de <i>Principio de relatividad</i> (1923)	147
A. IV. <i>Discursos</i> en la Academia de Ciencias de Madrid (1923)	159
A. V. “Proceso de extensión del conocimiento” <i>Revista de Occidente</i> (1927)	197
A. VI. “La obra de Einstein fuera de la Teoría de la Relatividad” <i>Revista Matemática Hispano-Americana</i> (1928)	233
A. VII. “Los mundos habitables” <i>Revista de Occidente</i> (1929)	247
A. VIII. “La imagen actual del universo según la relatividad” <i>Revista de Occidente</i> (1931)	275
<b>B) DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA</b>	<b>293</b>
B. I. La obra escrita de Blas Cabrera	295
B. II. Referencias bibliográficas	313

## Presentación

A lo largo del año 1994 se ha realizado un conjunto de actividades preparatorias de la “Commemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera”. Entre ellas merecen destacarse para el recuerdo algunas de diferentes tipos.

En primer lugar, la difusión de la efemérides blascabreriana entre los responsables de las instituciones canarias más representativas así como la progresiva integración de éstas en las tareas de patrocinio de las actividades.

En segundo lugar, ciclos de conferencias en diferentes islas. Primero, en Arrecife (Lanzarote), en marzo, organizado por el Cabildo Insular de Lanzarote y el Instituto de Bachillerato “Blas Cabrera”. Segundo, en La Laguna, también en marzo, bajo los auspicios de la Universidad de La Laguna y en el edificio de las Facultades de Física y Matemáticas. Tercero, en Las Palmas de Gran Canaria, en mayo, patrocinado conjuntamente por la Universidad y el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. Y cuarto, de nuevo en Arrecife, en octubre, en esta ocasión con el refrendo del Ayuntamiento.

En tercer lugar, la edición de un primer libro *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre*, editado por Amigos de la Cultura Científica con el patrocinio del Cabildo Insular de Lanzarote.

Y, en cuarto lugar, la intensa y compleja preparación de la exposición “Blas Cabrera: vida y obra de un científico” que iniciará propiamente los actos de la “Commemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera” y de la edición del libro-catálogo correspondiente.

Estos acontecimientos culturales blascabrerianos se han concebido con los auspicios de Amigos de la Cultura Científica, pero, sobre todo, hay que reconocer que han sido posibles gracias a la colaboración, ciertamente extraordinaria, de Dominga Trujillo Jacinto del Castillo, profesora de la Universidad de La Laguna, sin cuyo hacer, tensiones y atenciones, ilusiones y constancia, voluntad y firmeza no habrían existido ni estos actos preparatorios ni una conmemoración tan digna como la prevista ya en fase avanzada de realización. Es de justicia reconocerlo y agradecerlo

¿Por qué este libro *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*? ¿No resulta un tanto extraño?

Si uno se situara a la luz de las premisas, no descabelladas en principio, siguientes: a) Blas Cabrera fue un físico experimental especializado en magnetismo de la materia; y b) Blas Cabrera fue un físico español que trabajó en España, y nuestro país estaba lejos del quehacer ordinario en Física en la Europa de la época, resultaría absolutamente absurdo; carecería de sentido la empresa.



No obstante, desde la perspectiva del título y por su contenido, puede justificarse fácilmente su aparición en el marco intelectual cultural-científico por un conjunto de razones, complementarias de las anteriores, sí, pero modificadoras indudablemente de las conclusiones que sin ellas pudieran deducirse en principio. He aquí este conjunto de razones.

Primera. Blas Cabrera se constituyó en ‘padre de la Física española’ y no sólo en una figura relevante de la ciencia en España sino en la representativa de la ciencia española -ya en algunos sentidos modernizada- de la generación del 15, de la posterior a las dos figuras tan singulares como extrañas que fueron Santiago Ramón y Cajal y Leonardo Torres Quevedo.

Segunda. Albert Einstein significa y representa, sobre todo a partir de 1919, el mito, el punto de referencia, el genio de la Física del siglo XX.

Tercera. <<La teoría de la relatividad [es] el hecho intelectual de más rango que el presente puede ostentar>> (Ortega: “El sentido histórico de la teoría de Einstein”).

Cuarta. Cabrera es una figura clave en la renovación cultural española.

Quinta. Cabrera dedicó una atención relevante a la revolución relativista y considerables esfuerzos para su difusión en España y en la América española.

Sexta. Cabrera tuvo relaciones con Einstein.

Y séptima. Cabrera escribió mucho y de ordinario muy bien sobre la relatividad y la restante obra de Einstein.

Estas razones justifican sobradamente que como homenaje en el cincuentenario de su muerte y en el marco de los actos conmemorativos se escriba una especie de biografía de Blas Cabrera al hilo del desarrollo de la relatividad y de la atención que a ésta y a su autor dispensó el físico canario.

¡Bien! Justificado su contenido. Pero, desde una perspectiva formal, ¿por qué este libro? Sencillamente, por una feliz razón de otra naturaleza. La Concejalía de Cultura del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, que rige Cristóbal García del Rosario, se puso a la cabeza de las instituciones patrocinadoras de la “Comemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera” en ofrecimientos y en prontitud en el cumplimiento de los compromisos y de las aspiraciones conmemorativas. Ha querido patrocinar la edición de un libro que facilite y difunda el conocimiento de la figura y de la obra de Blas Cabrera y que fomente la presencia de los grancanarios en los eventos programados para los meses de marzo y abril con la exhibición de la muestra “Blas Cabrera: vida y obra de un científico” en el Castillo de la Luz. Y quiso que fuera precisamente éste entre los diferentes títulos que se sugirieron en la idea de editar unas *obras completas comentadas* ‘de’ Blas Cabrera y unas obras ‘sobre’ Blas Cabrera. Al reconocimiento debo unir mi gratitud y con ella la esperanza de que el libro cumpla los objetivos deseados por sus patrocinadores.

Y, además, el libro ... debe estar editado ... a fecha fija: primeros de marzo de 1995, para su presentación en Las Palmas de Gran Canaria con

motivo de los primeros actos de la Conmemoración en esta isla.

Si tanto el libro *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre* como el libro-catálogo de la exposición *Blas Cabrera: vida y obra de un científico* pueden considerarse como de carácter general, biográfico y documental, este *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad* es más específico, si se quiere tanto monográfico. En él se da cuenta de la actitud, en su evolución, de Cabrera y se comentan los textos del arrecifeño relativos a la primera gran revolución del pensamiento físico (y filosófico) del siglo XX: la *Teoría de la relatividad* que modificó radicalmente las estructuras mentales básicas y la concepción del Universo.

En un contexto más general, este libro puede considerarse no sólo como una pequeña contribución más en la tarea de dar a conocer a Blas Cabrera y su obra sino también como una modesta aportación complementaria en la tarea de recuperación de la memoria de los pocos científicos españoles relevantes y de la escasa ciencia y técnica de valor creativo que se ha producido en España.<sup>1</sup>

Este libro se estructura en tres partes perfectamente diferenciadas. La primera puede considerarse como ensayo referido a la atención que dedicó Blas Cabrera a la teoría de la relatividad y a sus relaciones con Einstein, en el contexto más amplio de ambas biografías y del proceso histórico de la Física en España. La segunda contiene una selección de textos del físico canario que se refieren a la teoría de la relatividad, especial y general, y a la figura de Einstein. Estos textos sirven de soporte, de contraste y de complemento a los puntos de vista expuestos en la primera parte. Y la tercera, de naturaleza documental general, en la que se recoge la obra escrita de Cabrera así como las usuales referencias bibliográficas.

El libro es (pretendidamente, al menos) autoconsistente, como no debía ser de otra manera.

Por lo que respecta a los Anexos debo afirmar que se reproducen -del gran repertorio escrito de Cabrera- aquellos más directamente relacionados con Einstein y la relatividad, pero sólo los que considero *textos menores* (por su extensión, lo que no supone necesariamente que sean carentes de significación y de importancia). Dejo constancia de que catalogo como *textos*

---

<sup>1</sup> Por mi parte, con un grande y valioso equipo de colaboradores y gracias a ellos, he dedicado una atención principalísima a Leonardo Torres Quevedo, en medida apreciable coronada por el éxito de unas publicaciones relevantes reconocidas. Una atención análoga, aunque de momento no tan fecunda en publicaciones, ha sido la dedicada al físico Julio Palacios que será citado en numerosas ocasiones en este ensayo. Especialísima e intensísima está siendo la dedicada en estos años 1994 y 1995 a Blas Cabrera. De menor intensidad han sido las atenciones prestadas a la recuperación de la memoria de Enrique Moles, Augusto González de Linares, Miguel A. Catalán y Arturo Duprier.

mayores (por su extensión y/o difusión) los siguientes: 1) *Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski* escrito durante los años 1912 y 13 mediante separatas en la Revista de la Academia de Ciencias<sup>2</sup>; 2) *¿Qué es la electricidad?*, editado por la Residencia de Estudiantes en 1917; y 3) *Principio de Relatividad*, editado también por la Residencia de Estudiantes<sup>3</sup> en 1923 coincidiendo prácticamente con la venida de Einstein a España. Estos libros son fundamentales para el tema objeto de nuestro estudio, como es obvio por su naturaleza, pero dadas su extensión y la anunciada edición de unas *obras completas comentadas* -conjunto de libros independientes- en cuyo contexto ocuparían lugar preferente, no pueden ni deben reproducirse en esta ocasión. No obstante, como parece inexcusable, en el ensayo están presentes. Complementariamente debo decir que me limito a reproducir en los Anexos lo publicado por Cabrera en vida. Dejo, en todo caso, para una nueva posible ocasión el tema de la consideración especial de sus trabajos inéditos (mecanografiados y manuscritos).

La estructura interna de cada capítulo del ensayo (salvo el 1, que se dedica a las cronologías biográficas respectivas de Cabrera y Einstein) se organiza -eligiendo diversos títulos como más representativos del período correspondiente- como se indica a continuación.

Puntos 1. Notas relativas a Einstein y a la relatividad.

Puntos 2. Comentarios relativos a la Física (y, a veces, a otras ramas de la Ciencia) española.

Puntos 3. Consideraciones específicas sobre la vida y la obra de Cabrera.

Puntos 4 y sucesivos, en su caso. Contexto y comentarios de los textos escritos por Cabrera, de interés para el tema que nos ocupa.

Y finalmente, unos 'a modo de resumen' del capítulo que inviten a continuar la lectura pasando al capítulo siguiente.

Arrecife (Lanzarote), enero de 1995

---

<sup>2</sup> *R. Acad. Cienc.* XI, 326, 398, 490, 604, 670, 775, 874, 959, 1912; y XII, 546, 738, 1913.

<sup>3</sup> Existe una reedición con presentación de José Manuel Sánchez Ron, 1986, de Alta Fulla, Barcelona.



I

**BLAS CABRERA**  
**ante Einstein y la relatividad**

## INTRODUCCIÓN: APUNTES BIOGRÁFICOS DE CABRERA Y DE EINSTEIN

Dadas la especificidad del tema objeto de atención en este libro y la naturaleza prioritariamente histórica y biográfica del ensayo, parece conveniente iniciarlo con unos marcos de referencia en los que de alguna manera se sitúen las vidas y las obras de Blas Cabrera y Albert Einstein.

Así, en este capítulo introductorio se incluyen dos partes.

Primera. Unos apuntes biográficos de Blas Cabrera (que pueden considerarse básicamente como reproducción, progresivamente pulida, de los inicialmente concebidos para el catálogo de mano de la exposición “Blas Cabrera, físico”, 1988, que sirvieron a su vez para los cuadros correspondientes del libro *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre* y para los textos del catálogo de mano y del libro-catálogo de la exposición *Blas Cabrera: vida y obra de un científico*, 1995). Constituyen un resumen que parece lógico que bien inicie de alguna manera cualquier libro sobre el ilustre científico o bien ocupe un lugar entre los anexos del mismo. La cronología escrita se completa con cuatro fotografías que considero significativas de cada una de las cuatro etapas que, con tanta precisión como acierto, estableció Nicolás Cabrera para el estudio de la vida y obra de su padre.<sup>4</sup>

Segunda. Análogamente, unos apuntes biográficos de Albert Einstein que faciliten la tarea relacional entre ambos físicos coetáneos del siglo XX.

Esta introducción (capítulo 1) con las relaciones de la obra escrita y las referencias bibliográficas (anexos finales) unidas al contexto complementario (capítulo 10) que cierra el ensayo, constituyen el marco preciso para situar el estudio emprendido.

---

<sup>4</sup> Nicolás Cabrera Sánchez-Real (1995) “Don Blas Cabrera y Felipe: Perfil humano y científico” en *Blas Cabrera: vida y obra de un científico*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid. El texto me lo entregó en 1987 con ocasión de la exposición “Blas Cabrera, físico” que inauguró la Universidad Internacional de la Axarquía (Vélez-Málaga, 1988) y con ésta el restaurado para ese fin Palacio del Marqués de Beniel.

## 1. APUNTES BIOGRÁFICOS DE BLAS CABRERA

### I. AUTOFORMACIÓN (1878-1910)

1878. Nace en Arrecife de Lanzarote (Islas Canarias), el 20 de mayo, hijo de Blas Cabrera Topham, notario, y de Antonia Felipe Cabrera. Es el mayor de 8 hermanos.
1881. La familia se traslada a Tenerife.  
Cursa los estudios de Bachillerato en el Instituto de Canarias, La Laguna (Tenerife).  
Conoce a María Sánchez Real, vecina de La Laguna y compañera de estudios.
1894. Se traslada a Madrid con la intención de estudiar Derecho. Entra en contacto con el ambiente científico de Cajal, en sus tertulias del Café Suizo, y, según contaba él, abandona los estudios iniciados de leyes por los de Física.
1898. Licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas por la Universidad Central de Madrid.
1901. Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Central de Madrid con la siguiente tesis: “Sobre la Variación Diurna de la Componente Horizontal del Viento” que fue calificada de Sobresaliente y dotada con Premio Extraordinario.  
Profesor Ayudante de Electricidad en la Facultad de Ciencias.
1903. Socio-fundador de la Sociedad Española de Física y Química y de los *Anales* de dicha Sociedad, revista en la que publicó numerosos trabajos, sobre todo en esta primera etapa de su vida.
1905. Catedrático de Electricidad y Magnetismo en la Universidad Central de Madrid.
1906. Contrae matrimonio con María Sánchez Real en La Laguna. Fijan su residencia en Madrid.
1910. Miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
El 17 de abril lee el Discurso de recepción sobre “El éter y sus relaciones con la materia en reposo”.





*Foto nº 1. Blas Cabrera a los 27 años.*

*En 1905 obtiene la cátedra de Electricidad y Magnetismo en la Universidad Central (Madrid) y en 1906 contrae matrimonio con María Sánchez Real, natural y vecina de La Laguna (Tenerife).*

## II. CONSAGRACIÓN NACIONAL (1911-1927)

1911. Director del Laboratorio de Investigaciones Físicas creado por la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas.
1912. Viaja a Zurich, pensionado por la Junta con objeto de aprender del considerado como gran sabio del Magnetismo de aquella época, Pierre Weiss. Este encuentro daría lugar a importantes resultados experimentales y a una floreciente amistad entre Cabrera y Weiss.
1915. Realiza un largo viaje a través de Sudamérica como mensajero cultural de España en compañía de Fernando de los Ríos. Da diversas conferencias científicas, y se le nombra Doctor *honoris causa* en varias Universidades, Profesor Especial y Honorario de las de México y Buenos Aires, y miembro de las Academias de Ciencias de Lima y Bogotá.
1916. Presidente de la Sociedad Española de Física y Química.  
Inaugura en México el Instituto Hispanomexicano como Profesor Extraordinario.
1917. Publica el libro *¿Qué es la electricidad?*.
1919. Doctor *honoris causa* por la Universidad de Estrasburgo.
1921. Miembro del Comité Internacional de Pesas y Medidas, en París.
1923. Publica el libro *Principio de Relatividad*.  
Recibe y acompaña a Einstein en su viaje y estancia en Madrid.  
Elegido, por otro período, Presidente de la Sociedad Española de Física y Química.
1926. La Fundación Rockefeller decide donar créditos al Estado español para la creación de un Instituto adecuado para albergar las importantes investigaciones que se venían realizando en el 'viejo' Laboratorio de Investigaciones Físicas que dirigía don Blas. A su vez, Cabrera participó activamente en la gestión llevada a cabo para conseguir unas instalaciones adecuadas para el centro que iba a dirigir: Instituto Nacional de Física y Química.  
Nuevo viaje a México, donde imparte cursos y conferencias.
1927. Publica su tercer libro: *El átomo y sus propiedades electromagnéticas*.



Foto n° 2. Blas Cabrera en 1920, año en el que dedicó una atención preferente al estudio de la relatividad y comenzó, prácticamente, su extensa e intensa tarea de difusión y divulgación de la teoría de Einstein.

### III. CONSAGRACIÓN INTERNACIONAL (1928-1936)

1928. Elegido Académico de Ciencias de París, patrocinado por los físicos Pierre Langevin y Maurice de Broglie.

En este mismo año tiene lugar el nombramiento más trascendental de toda su carrera como Miembro del Comité Científico de la VI Conferencia Solvay. Su candidatura había sido propuesta por Marie Curie y Albert Einstein. Estas reuniones, de 3 años de periodicidad, suponían las de más alto nivel científico, representado por el grupo de los mejores físicos del mundo.

1929. Rector de la Universidad Central de Madrid.

1930. Participa en la VI Conferencia Solvay, en Bruselas, sobre Magnetismo con el tema “Las propiedades magnéticas de la materia”, donde hizo importantes aportaciones experimentales.

1932. Se inaugura el ‘edificio Rockefeller’, sede del Instituto Nacional de Física y Química del que Cabrera fue director.

En el libro de J.H. van Vleck (1932) *Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*, que se convertiría en el texto más importante de la especialidad, Cabrera es el físico experimental más citado.

1933. Secretario del Comité Internacional de Pesas y Medidas con sede en París.

Publica su cuarto libro (en colaboración con Lang): *Física Experimental II*.

Participa en la VII Conferencia Solvay acerca de la “Estructura y propiedades del núcleo atómico”.

1934. Presidente de la Academia de Ciencias de Madrid, cargo que ocupa hasta el año 1937 en que se exilia.

Rector de la Universidad Internacional de Verano de Santander, de la que había sido uno de los fundadores en el año 1933.

1936. El 26 de enero lee su discurso de ingreso en la Academia Española (de la Lengua), donde ocupa el sillón de su amigo y maestro Cajal, lo que considera un gran honor. Cabrera ingresa con el discurso “Evolución de los conceptos físicos y lenguaje”.

Continuando en su cargo de Rector en Santander, es sorprendido allí por el comienzo de la guerra civil. Tiene que pasar a Francia para poder regresar a la zona de Madrid.



*Foto n° 3. Blas Cabrera en 1930.  
Miembro del Comité Científico de las Conferencias Solvay.  
Rector de la Universidad Central.*

#### IV. EL EXILIO (1937-1945)

1936. El 'alzamiento/rebelión militar' le sorprende en Santander, durante su rectorado en la Universidad Internacional de Verano.

1937. Decide abandonar la España en guerra civil.

#### 1937-41. PARÍS

Asiste todas las semanas a las reuniones de alto nivel científico que tenían lugar en aquel momento tan difícil para Europa, principalmente en las Universidades de Estrasburgo y la Sorbona.

Trabaja en el Comité Internacional de Pesas y Medidas y comienza con la científica Mme. Cotton un Laboratorio de Investigaciones Magnéticas hasta su exilio definitivo en México.

Participa en la organización de la VIII Conferencia Solvay titulada "Partículas elementales y sus interacciones", que en primer lugar es retrasada por enfermedad del Presidente Langevin y que luego es suspendida definitivamente a causa de la Segunda Guerra Mundial.

#### 1941-45. MÉXICO

Le abre sus puertas la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México acogiéndole como Profesor de Física Atómica y de Historia de la Física.

Colabora con un grupo de jóvenes científicos mexicanos encabezados por el Profesor Vallarta, mundialmente famoso por sus trabajos sobre Radiación Cósmica.

En 1944 sucede a Ignacio Bolívar, a la muerte de éste, en la dirección de la revista *Ciencia*, editada por los científicos españoles del exilio.

En este mismo año, la Institución Cultural Española de Buenos Aires, en la conmemoración de sus XXV años, le publica el libro *El magnetismo de la materia*.

A causa de la enfermedad de Parkinson le sobreviene la muerte el 1 de agosto de 1945.



Foto n° 4. Blas Cabrera en 1940. París.

## 2. APUNTES BIOGRÁFICOS DE ALBERT EINSTEIN

Cabrera y Einstein son coetáneos. Parece necesario disponer también de una cronología, aunque sea sucinta, con la finalidad de facilitar el contraste de las biografías y como trasfondo infraestructural para el desarrollo de este tema monográfico de Cabrera ante Einstein. He aquí, pues, unos apuntes biográficos de Albert Einstein.

1879. Nace el 14 de marzo en Ulm, Baden-Württemberg, de padres judíos.

1880. La familia se instala en Munich, donde el padre regenta una pequeña empresa electroquímica.

1894. La familia se traslada a Milán. No es aceptado en el Instituto Politécnico de Zurich y estudia en la Escuela cantonal de Aarau (Suiza).

1896. Ingresa en el Instituto Politécnico de Zurich, donde estudia hasta 1900. Alumno de Minkowski.

1900. Concluye sus estudios superiores.

    Escribe un artículo sobre termodinámica de las superficies líquidas para *Annalen der Physik*.

    Intenta trabajar bajo la dirección de H. Kamerling Onnes y de H.F. Weber pero no lo consigue.

1902. Adquiere nacionalidad suiza.

    Trabaja en la Oficina Federal de Patentes, en Berna, hasta 1909.

    Muere su padre.

1903. Contrae matrimonio con Mileva Maric.

1905. Publica en *Annalen der Physik* tres trabajos que serían considerados como cruciales para la física del siglo XX:

1) “Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz” en el que explica el efecto fotoeléctrico utilizando la hipótesis cuántica de Max Planck;

2) “Sobre el movimiento browniano” que se considera como una confirmación de la teoría atómica; y

3) “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento” (“Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, recibido el 30 de junio y publicado el 26 de septiembre) en el que exhibe la teoría de la relatividad especial. En este trabajo aparece la famosa fórmula  $E=mc^2$ .



Asímismo acaba su tesis doctoral *Sobre una nueva determinación de las dimensiones moleculares*.

1909. Doctor *honoris causa* por la Universidad de Ginebra.  
Profesor en la Universidad de Zurich.
1911. Profesor de Física teórica en la Universidad alemana de Praga.
1912. Profesor en la Escuela Politécnica de Zurich.
1913. Director del Instituto de Física Kaiser-Wilhem (Berlín).  
Miembro de la Academia Prusiana de Ciencias.
1915. Formulación definitiva de la teoría de la relatividad general.  
“Pensamientos fundamentales de la teoría de la relatividad general y su empleo en astronomía”.  
“Sobre la teoría de la relatividad general”.  
Expone la ecuación del campo gravitacional o formulación definitiva de la relatividad
- $$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} R = kT_{\alpha\beta}$$
- que relaciona ‘geometría’ con ‘contenido energético’.
1916. *Fundamentos de la teoría de la relatividad general*.
1917. Trabajos sobre cosmología.  
*Sobre la teoría de la relatividad especial y general*.
1919. Se divorcia de Mileva Maric. Se casa con Else Einstein, prima suya.  
Una expedición científica inglesa dirigida por Eddington y Dyson ‘confirma’ la predicción relativista de la desviación de la luz al pasar por las proximidades de grandes masas, observando la desviación de la luz de estrellas lejanas al pasar próximas al Sol con ocasión de un eclipse solar.  
Se producen unos primeros ataques antisemitas contra la obra de Einstein.
1921. Primer viaje a Estados Unidos.  
Conferencias en Princeton.  
*El significado de la relatividad*.  
Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre el efecto fotoeléctrico.
1922. Artículo sobre el campo unificado (a la búsqueda de una teoría unificada de campos: gravitacional y electromagnético).

1923. Viaje al Japón, Palestina y España.
1925. Firma un manifiesto contra la obligatoriedad del servicio militar.
1926. *Investigaciones sobre la teoría del movimiento browniano.*
1930. Segundo viaje a Estados Unidos.  
Firma un manifiesto en solicitud del desarme mundial.
1932. Traslado a los Estados Unidos. Profesor en la Universidad de Princeton.
1933. Los nazis, al poco tiempo de subir al poder en Alemania, confiscan las propiedades de Einstein.
1936. Muere Elsa Einstein.  
Inicia la colaboración con Leopold Infeld, físico polaco.
1938. *La física, aventura del pensamiento*, en colaboración con Infeld.
1939. Carta a Roosevelt en la que indica la posibilidad de que el uranio pueda constituirse en fuente de energía para una bomba de gran potencia.
1940. Obtiene la nacionalidad estadounidense.
1945. Como consecuencia de las bombas atómicas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki, reitera su pacifismo.
1946. Carta a la ONU reclamando un gobierno mundial.
1949. Publica una autobiografía.
1952. Rechaza la oferta de presidir el Estado de Israel.
1955. Firma el manifiesto redactado por Bertrand Russell contra la existencia de armas nucleares.  
El 18 de abril muere en Princeton.

## EL JOVEN FÍSICO BLAS CABRERA (1901-1905): ACTITUD CRÍTICA, ESPÍRITU ABIERTO

En este capítulo pretendo referirme a una primera fase de la primera etapa de la vida y obra de Blas Cabrera denominada de “autoformación” en la sinopsis del capítulo anterior y hacerlo desde el punto de vista que se orienta hacia su condición de físico. Esta primera fase estaría comprendida desde el momento en que adquiere la condición de doctor, 1901, hasta la aparición de la teoría de la relatividad especial o restringida de Einstein, 1905. En la vida científica de Cabrera este acontecimiento -en su aparición- no tiene ningún significado ni presenta relevancia alguna ya que no tiene de él ni siquiera la más lejana noticia. Sin embargo, dado el tema de este ensayo, parece obvio destacar la fecha como una cortadura en el tiempo a historiar.

Dos aspectos singulares debo tratar en este tema: primero, el estado de los conocimientos físico-matemáticos de Blas Cabrera; y, segundo, su actitud ante la Física de principios de siglo; complementariamente hacerlo en y desde el marco en el que vive. El eje de la reflexión serán sus publicaciones, aquellas más directamente relacionadas con el tema que nos ocupa, referidas temporalmente a una época en la que aún no ha nacido la relatividad especial de Einstein.

### 1. LOS INICIOS DE EINSTEIN Y DE LA RELATIVIDAD

En las biografías de Einstein niño y joven, suelen recordarse como ideas comunes: a) que vivió en diferentes países -Alemania, Italia, Suiza-; b) que aprendió a tocar el violín a los cinco años; y c) que fue un estudiante normal o bien que no destacó.

Hasta 1905, año crucial en la producción científica escrita de Einstein, puede afirmarse, sin ningún género de dudas, que quien representaría más tarde, probablemente, la imagen del hombre más significativo como ‘genio y símbolo’ del siglo XX era, a los efectos de la Física, con términos foráneos a su lengua alemana y la nuestra española, pero perfectamente ajustados al momento, ‘amateur’ y ‘outsider’. Desempeñaba un puesto de funcionario en la Oficina de Patentes de Berna.

En 1905 publica en la revista *Annalen der Physik* tres artículos que ocupan lugar de honor en la historia de la Física del siglo XX. Son estos:

- 1) “Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y

transformación de la luz”;

2) “Sobre el movimiento browniano”; y

3) “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”.

Este último es el texto básico de la *relatividad especial*. En él aparece la que se haría con el tiempo famosísima fórmula:

$$E = mc^2.$$

Su obra, al principio y con carácter prácticamente general, pasó desapercibida.

El tema de física que podría enunciarse, por ejemplo, como *el problema de la búsqueda de la relatividad* sí gozaba de actualidad; constituía uno de los temas ‘frontera’ de la época. Enzarzados en él estaban, entre otros, nada menos que Lorentz y Poincaré, considerados como las figuras máximas del pensamiento físico en el gozne del cambio de siglo. Éstos eran los ‘padres’ de la física, las ‘fuentes’ del conocimiento en la Europa occidental (los sucesores como faros, por ejemplo, de Maxwell y Boltzman).

La física, <<la gran aportación de Europa a la historia de la humanidad>>, según nuestro Ortega, caminaba hacia el lugar preminente que desempeñaría unos años más tarde, durante las décadas de los diez hasta los treinta, entre las ramas de la inteligencia y en auge tan vigoroso como el declive de la filosofía. La(s) ‘nueva’(s) física(s) estaría(n) de moda, aún más, si ello fuera posible y parece que lo fue, que en los siglos precedentes la mecánica y la cosmología newtonianas.

## 2. LA ESPAÑA CIENTÍFICA DE COMIENZOS DE SIGLO

¿Y qué era, entre tanto, de la ciencia en España? Nuestro país había permanecido largo tiempo al margen de los quehaceres científicos e incluso de las preocupaciones y problemas de esta naturaleza. No disponíamos ni de ambiente socio-intelectual ni de centros de investigación.

La crisis del 98, con la pérdida de los últimos vestigios del imperio colonial, sacudió la conciencia española y facilitó lo que ha quedado en denominarse en general ‘regeneracionismo’ y, en especial, considerarse como proceso de europeización. En este nuevo marco cabe situar, por una parte el papel que puede desempeñar y realiza Santiago Ramón y Cajal en un contexto institucional más o menos clásico, y, por otra, la ‘revolución’ que desde tantos puntos de vista se produce en torno a Leonardo Torres Quevedo -creación para él en 1904 del Centro de Ensayos de Aeronáutica, en un plazo ciertamente sorprendente por su brevedad, y posteriormente, en 1907, el Laboratorio de Mecánica Aplicada-. En este año se crearía la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, institución que facilitará lenta pero firmemente la aproximación de la ciencia española a la europea.

### 3. EL JOVEN FÍSICO BLAS CABRERA (1898-1905)

A los veinte años, en 1898, Blas Cabrera concluye su licenciatura en Ciencias físico-matemáticas. Este año nace su hermano menor Juan Cabrera Felipe, en Tenerife; sería catedrático de universidad de Física y rector de la Universidad de Zaragoza.

En 1901 Blas Cabrera lee su tesis doctoral -que consideraría primer ‘momento solemne’ de su vida en el discurso de ingreso en la Academia de Ciencias en 1910- de título “Sobre la variación diurna de la componente horizontal del viento” que se edita en Santa Cruz de Tenerife en 1902. Aún es un provinciano en la capital, ligado a la tierra de residencia familiar, Santa Cruz de Tenerife, donde su padre es notario en clara ascensión social, pero un provinciano que triunfa en Madrid.

En 1903 se crea la Sociedad Española de Física y Química de la que es socio fundador, y en ella la revista *Anales*, en la que publicará prácticamente la totalidad (24 de 27) de sus trabajos científicos de la primera etapa, como puede verse en la Documentación complementaria que cierra este libro.

En 1905 obtiene la recién creada cátedra de Electricidad y Magnetismo en la Universidad Central (Madrid).

La primera etapa del físico canario, que concluye en torno a 1911 y en la que se integra esta primera fase objeto de atención en este capítulo, puede caracterizarse por las siguientes notas significativas, como hemos puesto de manifiesto en diferentes ocasiones<sup>5</sup>.

1. *Autoformación*. Estudia, escribe lecciones, da clases aprendidas. Se actualiza. Lee lo hecho y escrito por otros y lo difunde. No tiene maestros de algo que no existe, iniciará en España la senda del ‘hacer física’.

2. *Reflexiona sobre diferentes temas*. Y con la preposición *sobre* comienza gran número de sus primeros trabajos.

3. Manifiesta muy pronto una *actitud científicamente no dogmática* que contrasta -aspecto que no se percibe de inmediato- con el aplomo con que defiende las ideas en las que cree en cada momento, actitud que perdurará en él toda su vida. Predomina en su personalidad un espíritu abierto a las novedades, que aceptará, de ordinario, sin grandes dificultades: teorías de la relatividad, nuevos y sucesivos modelos del átomo, teorías del magnetón, mecánica cuántica, etc. (probablemente el caso del *magnetón de Weiss* constituya una excepción de lo que constato como de cierta generalidad). Consecuentemente está predispuesto a prescindir de los conceptos y de las teorías preestablecidas.

4. *Comienza a ‘investigar’ experimentalmente*.

5. Se alumbra su especial *dedicación al magnetismo*.

<sup>5</sup> González de Posada (1994b), págs. 60-64.

#### 4. “SOBRE LA EXISTENCIA DEL MAGNETISMO VERDADERO” (1904)

De esta primera fase considero conveniente destacar al menos un trabajo para hacer un breve comentario. Elegiré el más significativo para el objeto de este ensayo.

En 1904 el joven Blas Cabrera, físico doctor, escribió un interesante artículo en el que se prelude de manera singular su trayectoria futura a la luz de las siguientes notas incipientes: 1) dedicación al magnetismo; 2) actitud crítica; 3) interés por el trasfondo filosófico de los temas de física; y 4) buena pluma. Lo elijo como primera muestra de su incipiente personalidad y como representativo de esta primera fase. También es interesante, obviamente, a los efectos de su especialización posterior y en concreto del programa sobre *magnetismo de la materia* que tendría como tarea de investigación experimental a lo largo de su vida.

El trabajo se titula “Sobre la existencia del magnetismo verdadero” y se publica en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, II, 227-239, 1904. No obstante su interés relevante, no ha sido posible, por las lógicas limitaciones de espacio y por el criterio elegido de selección de los Anexos, reproducirlo en éstos. He aquí, a continuación, unos breves comentarios.

La introducción constituye un pulido espejo para conocer al científico Cabrera desde su juventud. Su preocupación físico-filosófica se presenta plurivalente. Detectemos algunas características específicas.

Primera. Manifestación de *cultura histórico-científica*, que se exhibe como estrictamente necesaria para la investigación, el análisis y la difusión del pensamiento.

Segunda. Especial *preocupación filosófica* en dos terrenos básicos: a) el de la clarificación de los conceptos; y b) el de la interpretación de los resultados experimentales.

Tercera. Fe en la experiencia, en tanto que ‘hipótesis teórica’. La existencia (aparente) no se identifica con la realidad (supuesta) física.<sup>6</sup>

Las primeras palabras de este artículo son harto significativas. Constituyen una buena toma de posición.

<<El estupor y admiración de los físicos y matemáticos de los siglos XVIII y XIX ante la sencillez y fecundidad de la ley de Newton les vedó comprender el verdadero sentido dado por el sabio inglés a su enunciado, borrando parte de él y atribuyéndole un carácter afirmativo que nunca tuvo para su autor. “Todo ocurre, decía Newton, como si LOS CUERPOS CELESTES SE ATRAJERAN SEGÚN LA RECTA QUE UNE SUS CENTROS EN RAZÓN DIRECTA DE SUS

<sup>6</sup> En este párrafo, como se aprecia fácilmente, se dice ‘mucho’ (o quizá, ‘casi nada’) que puede sorprender. No es posible extenderse en explicaciones filosóficas en este libro primordialmente histórico.

MASAS E INVERSA DEL CUADRADO DE LAS DISTANCIAS” y en este enunciado encerraba una hipótesis que nunca perdió a sus ojos el carácter de tal, pero que luego pasó como hecho inconcuso durante más de un siglo: la existencia de las acciones a distancia, cuyo agente u origen estaba medido por la masa.>>

Entre los dogmas de fe científicos en los que creía el joven Cabrera, relativos al marco de la relación Física-Naturaleza destacan los siguientes:

Primero: existencia del espacio.

Segundo: existencia del éter (medio ‘material’ deformable que llena el espacio).

Y tercero: existencia de la materia.

Desde el punto de vista de las magnitudes físicas, destaca su creencia científica en la *verdadera* naturaleza algebraica escalar o vectorial real de las magnitudes físicas, y en la naturaleza analítica de continuidad y diferenciabilidad de todo lo concebido como campo.

En el ámbito del Análisis Dimensional, aún no nacido como disciplina científica autónoma, llama la atención su referencia a la *ecuación de dimensiones* como definidora de la naturaleza misma de la magnitud y a la idea de que las dimensiones permanecen invariables (es decir, tienen carácter intrínseco). Le interesa el uso del análisis dimensional y su interpretación.

En lo referente al contenido propio del artículo que comento, entiendo, para los fines de esta biografía relativista de Cabrera, que debo destacar las siguientes consideraciones.

Primera. Crítica de las acciones a distancia, negando firmemente su existencia.

Segunda. Creencia absoluta en el éter, medio material en el que se producen perturbaciones.

Tercera. La idea expresa del <<papel de magnitud principal del vector que representa la intensidad del campo eléctrico o magnético, única magnitud, por otra parte, asequible directamente a la experiencia>>.

El trabajo, obviamente de naturaleza físico-filosófica como vengo señalando -muy propio de la época- se estructura según el siguiente esquema: 1) <<abordar el problema de la existencia del magnetismo verdadero>>; y 2) concluir que <<el magnetismo verdadero no puede existir>>. Con la negación del magnetismo verdadero, confirma, por el contrario, la existencia del magnetismo libre.

Ha dado muestras no sólo de valentía sino incluso de osadía. Y lo hace con firmeza. Y esto al margen de la mayor o menor dosis de originalidad.

En 1905 Einstein, judío alemán nacionalizado suizo, es un desconocido que tiene un empleo de funcionario, pero que publica, en este año, tres artículos magistrales que poco más tarde lo lanzarán a la fama, en la prestigiosa revista *Annalen der Physik*.

En este año, Blas Cabrera, que ha demostrado en su alrededor madrileño una gran capacidad intelectual y una recia personalidad, obtiene la cátedra de Electricidad y Magnetismo, segundo ‘momento solemne’ de su vida, convirtiéndose a los veintisiete años en catedrático de la Universidad Central (Madrid).

A mi modo de ver, situándome en la línea de valentía y de osadía que le otorgo a él, el Blas Cabrera de 1905 se caracteriza, entre otras, por las siguientes notas: 1) actitud crítica, sin ambigüedades; 2) espíritu abierto; 3) defensa clara y firme de sus convicciones y razonamientos; 4) es consciente de la crisis por la que atraviesa la física clásica y, en ésta, especialmente la visión cosmológica newtoniana; 5) está inmerso progresivamente en dicha crisis; 6) vive al margen de la física europea y, sobre todo, lejos de los centros y focos de creación de ideas y de investigación experimental; es decir, está encerrado en la soledad de España, va por libre; y 7) aún no ha comenzado a ‘hacer física’; de momento lee, piensa y escribe.



## AL MARGEN DE EINSTEIN Y DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL (1906-1911)

En este capítulo quiero comentar el período de la vida de Cabrera comprendido desde que obtiene la cátedra en la Universidad Central y se publica la teoría de la relatividad especial hasta su viaje a Zurich, decisión trascendental para su carrera posterior de físico experimental.

### 1. EINSTEIN: LA DIFUSIÓN DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y SU ACCESO A LA FAMA COMO FÍSICO

A modo de síntesis, ya que debe decirse algo de ella, diré que entre las novedades introducidas por la relatividad especial pueden explicitarse, por ejemplo, las siguientes:

1) Constituye una nueva visión del mundo físico, fundamentada en dos postulados. Primero: Las leyes de la naturaleza son invariantes respecto de transformaciones de Lorentz de sistemas de coordenadas inerciales. Segundo: La constancia de la velocidad de la luz en el vacío independientemente de su longitud de onda y del estado de movimiento del manantial luminoso.

2) El tiempo pierde su carácter 'absoluto', deja de ser un referencial de los fenómenos.

3) Introduce una (cierta) equivalencia entre masa y energía.

Al principio, como ya he dicho, el trabajo de Einstein pasó en general desapercibido. Sólo en Alemania, y gracias nada menos que a Max Planck, tuvo un cierto eco relevante.

La aparición en escena de los artículos de Minkowski acerca de la relatividad (1907-8) expresados en la idea de un espacio-tiempo cuatridimensional -teoría del mundo absoluto- con la utilización del cálculo tensorial, sirvió de soporte físico-matemático para la formulación de la relatividad especial y dió a ésta un considerable impulso. No obstante, salvo en Alemania, no fue aceptada y más que probablemente ni entendida.

En 1909 Einstein tiene ya un nombre en el ámbito de la Física. Es profesor en la Universidad de Zurich y la Universidad de Ginebra le concede el doctorado *honoris causa*.

En 1911 es profesor de Física teórica en la Universidad alemana de Praga y asiste, como físico de primera categoría europea, a la Primera

Reunión de las Conferencias Solvay en Bruselas, en cuyo Comité Científico coincidiría con Cabrera a partir de la Sexta Reunión, en 1930.



Foto n° 5. Reunión de la I Conferencia Solvay, Bruselas, 1911.

De pie (de izq. a der.): Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann, De Broglie, Knudsen, Hasenohol, Hostelet, Herzen, Jeans, Rutherford, Kamerlingh Onnes, Einstein, Langevin.  
Sentados (de izq. a der.): Nernst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Perrin, Weyl, Marie Curie, Poincaré.

## 2. LA VIDA CIENTÍFICA EN LA ESPAÑA DEL SEGUNDO QUINQUENIO DEL SIGLO

Las dos personalidades propiamente científicas ya citadas, Leonardo Torres Quevedo y Santiago Ramón y Cajal, siguen constituyendo dos focos de especial relevancia en la innovación científica y técnica. Leonardo Torres Quevedo lucha con sus dirigibles, con el telekino y con el transbordador: tres grandes inventos que correrán diferentes suertes.

En 1907 se crea la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, organismo cuyas actuaciones modificarán el quehacer intelectual y científico de España y constituirá una de las claves en el proceso de modernización (europeización) de España.

Si la relatividad especial había pasado prácticamente desapercibida salvo parcialmente en Alemania, en la España de la época (insertada, científicamente al menos, en el maldicho europeo "Africa empieza en los

Pirineos”) habría de ocurrir algo cualitativamente similar aunque durante un período más largo. Puede afirmarse que, de hecho, en general en unos primeros años, no se tuvieron noticias ni de Einstein ni de la relevancia de su concepción relativista especial.

Las referencias a Einstein de Terradas, en el Congreso fundacional de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias que tuvo lugar en Zaragoza en 1908, pueden considerarse como anecdóticas. En el magnífico - en tantos otros aspectos- Discurso de ingreso de Cabrera en la Real Academia de Ciencias, de 1910, aún no cita a Einstein, siendo así que todo el discurso gira en torno al concepto del éter que había sepultado Einstein con su teoría de la relatividad especial.

### 3. BLAS CABRERA: ACADÉMICO DE CIENCIAS

El joven catedrático de Electricidad y Magnetismo, en 1906, contrae matrimonio con su novia desde tiempos del Instituto, María Sánchez Real, tinerfeña. Fijan su residencia en Madrid. El sueldo oficial no debía resultarles suficiente y solicita permiso al Rectorado, que se le concede, para compatibilizar su cátedra en la Universidad Central con la enseñanza privada de Álgebra en la preparación de los Ingenieros de Minas. Esta (al menos aparente) necesidad económica es paralela a la (ineludible) necesidad matemática de conocimientos que tiene Cabrera y que adquiere en esta etapa y manifiesta, precisamente, en los primeros artículos que he de comentar en este capítulo relativos a vectores y tensores.

Entre las publicaciones de Cabrera de esta segunda fase -la posterior a la publicación de la relatividad especial o restringida de Einstein- de su primera etapa vital, deseo referirme de modo expreso a aquellas que considero relevantes para entender el proceso intelectual evolutivo del físico canario en fundamentos de física, por su relación con los temas que interesarán a la relatividad. Son éstas: “Principios fundamentales de la teoría de vectores. Crítica de las acciones a distancia” (1906), primer trabajo que publica en la Revista de la Academia de Ciencias, “Sobre la teoría de tensores” (1907), “La teoría de los electrones y la constitución de la materia” (1908), en el contexto del Congreso fundacional de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, y, finalmente, el “Discurso” de ingreso en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, de título “El éter y sus relaciones con la materia en reposo”, pieza fundamental y conclusiva de su pensamiento prerrelativista, que lee el 17 de abril de 1910.

Puede afirmarse que hasta 1910, como mínimo, Blas Cabrera o bien no tuvo noticias de Einstein ni de su obra o bien si las tuvo no le dedicó ninguna atención como veremos más adelante al comentar el citado “Discurso” de ingreso en la Academia de Ciencias de Madrid. Y, por otra parte, este acontecimiento, el tercer ‘momento solemne’ de su vida, lo eleva a la cumbre del prestigio científico en la España de la época.

En 1912, pensionado por la Junta para Ampliación de Estudios, viaja a Zurich, al encuentro de Moles, con la intención de aprender/trabajar con Weiss, figura máxima del magnetismo de la época. La estancia en Suiza transformará profundamente los pensares, creeres y haceres de Blas Cabrera, de modo que iniciará una nueva etapa que hemos designado como de ‘consagración nacional’ y que se caracteriza primordialmente por ‘hacer física’ y no sólo ‘hablar de física’ o ‘reflexionar sobre’ cuestiones de la Física.

#### 4. “PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA DE VECTORES. CRÍTICA DE LAS ACCIONES A DISTANCIA” (1906)

En 1906 Cabrera publica, en la *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid* (IV, 532), “Principios fundamentales de la teoría de vectores. Crítica de las acciones a distancia”. De este artículo creo conveniente hacer las siguientes consideraciones de cierta importancia para nuestro interés.

Es un trabajo prioritariamente, si no exclusivamente, de orden pedagógico, de texto para alumnos. Además, es básicamente formal.

En el punto primero, como introducción, y con el título de “fenómenos escalares, vectoriales y laminares”, ofrece la siguiente caracterización de *fenómeno físico*:

<<Un fenómeno físico consiste siempre en una deformación del medio que nos envuelve, que afecta a una región finita o indefinida del mismo, llamada *campo* del fenómeno. Dicha deformación puede ser idéntica en todos los puntos del campo, y entonces bastará conocerla en uno de ellos, o variable con él, en cuya hipótesis es menester determinar la función o funciones de las coordenadas que definen su ley de variación.>>

El trabajo constituye un esbozo de libro de *Teoría elemental de campos*, texto formal de temas básicos de *Análisis Vectorial*. He aquí el índice (en el lenguaje de la época casi coincidente con el actual): Suma y resta de vectores; producto escalar y producto vector; divergencia de un vector; teoremas de Gauss y de Green; flujo de un vector; teorema de Stokes: vórtice de un vector; vector laminar: potencial escalar, superficies equipotenciales y líneas de flujo, representación del campo con su auxilio, representación de un vector laminar por una acción a distancia (en la que propone una demostración original); vector solenoidal o áxico: potencial vector, representación de un vector solenoidal por una acción laplaciana; tubos de flujo: representación gráfica del campo por los tubos de flujo; multiplicador de Jacobi; Teorema de Helmholtz: descomposición de un vector en su parte laminar y solenoidal.

El contenido es estrictamente necesario en una preparación básica

universitaria de ciencias o técnica<sup>7</sup>. Para él supuso un primer esfuerzo de aproximación a unos formalismos matemáticos básicos para interpretar y desarrollar la teoría de la relatividad. A fin de cuentas, físico-matemática fundamental y general.

Concluye este trabajo con dos puntos de diferente naturaleza y de mayor interés: a) la determinación de la naturaleza de un fenómeno vectorial; y b) la crítica de la teoría de las acciones a distancia.

## 5. “SOBRE LA TEORÍA DE LOS TENSORES” (1907)

En 1907, en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, publica un pequeño trabajo, que puede considerarse complementario del anterior, de título “Sobre la teoría de los tensores”. Con él, absolutamente intrascendente bajo otros puntos de vista, adquiere un primer contacto con los tensores: <<Nuestro objeto -dice a pie de página- es dar a conocer algunos teoremas que se deducen en esta teoría, por procedimientos análogos a los utilizados en la de las magnitudes vectoriales>>. En él sólo aparecen consideraciones formales y muy superficiales: definición y determinación de un tensor; suma de tensores; triple tensor; producto de dos tensores; divergencia de un tensor; vórtice del tensor. Poco y deficiente, pero también aproximación al tema y el esfuerzo de escritura; en resumen, tarea de divulgación físico-matemática.

Estas dos publicaciones comentadas constituyen unos preludios del texto -no editado como libro- de título “Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski” (1912-13) que deseamos reeditar y que sí constituye ya un buen texto de estudio incluso válido en nuestros días. (Las Universidades de La Laguna y de Las Palmas de Gran Canaria podrían hacer una edición especial conmemorativa y distribuirla entre sus alumnos de Física, Matemática e Ingenierías. Merecería la pena. Es un buen libro de *Análisis Vectorial*. Lo comentaremos en el próximo capítulo).

Puede afirmarse que en 1907 Blas Cabrera tiene una cierta familiaridad, aún muy parca, con lo que constituirá el soporte matemático del formalismo relativista. En este sentido no resulta temerario afirmar que sus conocimientos de física matemática debían correr parejos con los de Einstein en estas fechas.

## 6. EL CONGRESO FUNDACIONAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

<sup>7</sup> Reconozco que poco más hice yo cuando escribí *Teoría de campos escalares y vectoriales* (1969) en el marco de la asignatura “Medios matemáticos auxiliares para la Física y la Técnica” en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

## PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS (1908)

En la sesión del 26 de octubre de 1908 del Congreso de Zaragoza de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Blas Cabrera presentó el trabajo de título “La teoría de los electrones y la constitución de la materia” (págs. 259-290 del tomo III de las Actas del Congreso). En el mismo Congreso, en la sesión del día 27 de octubre, Esteban Terradas é Illa presentó la comunicación de título “Teorías modernas acerca de la emisión de la luz”. Estos dos trabajos:

- a) se insertan en el marco de las cuestiones tratadas en, o relacionadas con, la teoría de la relatividad especial y con Einstein;
- b) suelen considerarse como primeras manifestaciones de la entrada de la relatividad de Einstein en España; y
- c) están escritos por dos ‘figuras emergentes’ de la ciencia española, de lo que tienen conciencia ellos y la comunidad científica española a la luz de sus correspondientes *curriculum*.

Por lo que respecta a “La teoría de los electrones y la constitución de la materia” de Cabrera diré unas pocas cosas seleccionando unos párrafos capitales para entender a este joven catedrático de universidad.

La introducción es harto significativa de su visión y de su precisa y firme expresión, y no requiere comentarios:

<<El desenvolvimiento de cualquier capítulo de la Físico-química ha ejercido siempre una marcada influencia en las ideas y teorías reinantes en la Filosofía natural, descubriendo relaciones hasta entonces ocultas y que constituyen conquistas definitivas para la Ciencia, o engendrando hipótesis que, aun llamadas a desaparecer o modificarse profundamente más tarde, abrieron nuevas vías de investigación y fueron por ello fuentes abundantes de conocimiento. Pero ninguno de ellos puede, bajo este respecto, compararse con la Electricidad, cuya propia historia caracteriza a grandes rasgos la historia entera de la Físico-química.>>

El final de este trabajo constituye un bello resumen del mismo que debo reproducir:

<<Resumiendo: podemos afirmar que la teoría electrónica de los fenómenos electromagnéticos y ópticos, aparece hoy cimentada firmemente, gracias a la amplia base que le suministra su doble origen teórico y experimental. Pero también teórica y experimentalmente resulta, que la masa de los electrones negativos es una simple manifestación externa del campo electromagnético por ellos engendrado, de donde, guiados por el principio lógico que impide atribuir a causas diferentes los mismos efectos, afirmamos la

constitución electrónica de la materia, que así queda reducida a la manifestación aparente de una inmensa perturbación del éter; sublime tempestad cuyos torbellinos son los electrones y cuyas olas son las ondas que propagan y disipan la energía emitida por aquéllos en sus rápidos movimientos. De esta suerte, la teoría de los electrones ha fundido en una sola la Física del éter y la Física de la materia.

Cierto que la teoría electrónica encuentra aún obstáculos casi insuperables; pero nótese que estos fenómenos, cuya explicación no ha podido hallar, son también un enigma en las teorías clásicas, pues cuando de ellos se ha dado alguna explicación, ésta, en el fondo, se resuelve en una verdadera tautología.>> (pág. 290).

Entre las conclusiones que pueden extraerse de este texto de 1908 y que resultan interesantes para nuestro ensayo blascabreriano debo resaltar las siguientes.

Primera. Plena aceptación del éter como realidad física, sin ningún tipo de fisuras.

Segunda. No cita a Einstein.

Tercera. No parece probable que conozca, ni siquiera superficialmente, los trabajos del creador de la relatividad.

La comunicación de Terradas, de título "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz", se refiere a un tema que según él <<constituye, a no dudarlo, uno de los más importantes problemas de la Física Matemática actual>>. En la comunicación analiza: a) las leyes de Kirchoff, de Stefan-Boltzmann y Wien; b) las teorías de Jeans y Lorentz; c) la teoría de Planck (es en este marco cuando se cita, posiblemente por primera vez en España, a Einstein -aunque en las actas del Congreso aparece aquí como 'Eisenstein' (apellido de un ilustre matemático conocido)-; y d) el 'Principio de Relatividad', donde se cita de nuevo a Einstein -y en las actas aparece ahora 'Eisenstein'- de manera clara y precisa desde el conocimiento actualizado, sumamente actualizado, aunque quizá no se valore suficientemente la trascendencia que habría de tener la teoría de la relatividad. Escribe Terradas: <<sólo diré ahora que el principio descubierto por Lorentz, fué deducido nuevamente y completado por Einstein, el cual, con Laub, han hecho modernamente aplicación del mismo para establecer las leyes más generales de la Electrodinámica, llegando a las ecuaciones deducidas por primera vez por el matemático Minkowsky. Además, Poincaré ha relacionado este principio con la teoría de grupos>>. Terradas sí está, asombrosamente puede decirse, 'al día', y así lo demuestra.

Parece más que probable que Cabrera ni asistiese a la sesión de Terradas ni leyera posteriormente su trabajo. Fundamento esta hipótesis en el contenido del siguiente trabajo que comento.

## 7. “EL ÉTER Y SUS RELACIONES CON LA MATERIA EN REPOSO” (1910)

El 17 de abril de 1910 Cabrera lee el “Discurso” de su recepción pública en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Ha alcanzado el techo de lo posible/lo esperable/lo anhelable para un científico español en aquella época:

<<¡ya comprenderéis cuál sería el estado de mi ánimo al verme elevado a la suprema dignidad en que soñar pude!>>

Tres sucesos <<que influyeron profundamente en mi vida intelectual>> han jalonado su corta historia científica: doctorado (1901), cátedra(1905), académico de ciencias (1910). Pues bien, del texto de este tercer momento solemne, y por lo que atañe sobre todo al tema objeto de nuestro interés, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, me parece conveniente, en primer lugar, destacar algunas frases suyas antes de penetrar directamente en su contenido.

Primera. Acerca de la Física en España: <<una ciencia que tan escasos cultivadores tuvo en nuestra patria durante la pasada centuria>>.

Segunda. Dado que debe desarrollar, como precepto estatutario, un tema científico, afirma:

<<... soy ingenuo al confesaros que no dudé al elegir. **Ninguno tan fundamental para las ciencias físicas, ni de actualidad tan palpitante, como analizar el concepto que la Física moderna se forma del éter**>><sup>8</sup>.

Tercera. Su noción relativa al papel de las ecuaciones matemáticas, noción que reitera con diferentes palabras a lo largo de su vida:

<<[el éter] se ha convertido hoy en algo mucho más sutil, algo que sólo podemos definir por un sistema de ecuaciones, que si lo dicen todo a la inteligencia, nada sugieren a la imaginación. Y al propio tiempo que su concepto se ha simplificado, su utilidad ha crecido, pues si antes se pretendía asimilarle a una especie particular de materia, hoy se logrará con su auxilio explicar la materia misma ...>>

El joven Cabrera escribe una joya de la literatura científica acerca del éter ¡qué placer literario, filosófico y físico aporta y reporta el texto académico! ¡Cuánto y qué bien pulió su discurso! De muy recomendable lectura.

Pero un lamento complementario es preciso elevar: el éter había pasado a mejor vida con la relatividad especial. Cabrera <<en este momento, el más

<sup>8</sup> El uso de negritas es mío.



solemne de mi vida>> aún es un físico español ... que desconoce -al menos con cierta profundidad- y, en consecuencia, no puede valorar la magna revolución de Einstein. El físico alemán en esta fecha ya es suficientemente conocido en la aún lejanísima Europa -para España- y sería invitado, como he recordado al comienzo de este capítulo, a la I Conferencia Solvay.

Pasemos a analizar su contenido. Cabrera estudia: a) el éter en el vacío; y b) sus relaciones con la materia ponderable. El éter -quizá mejor, el discurso de Cabrera sobre él a lo largo de su vida- constituye una de las líneas claves para entender su evolución intelectual en filosofía natural. Haré aquí una síntesis concatenada -y espero que fecunda- del relevante discurso que no tiene cabida en los Anexos.

Primero. El éter existe realmente. Y su existencia se fundamenta en una <<necesidad de nuestro entendimiento>> ('principio filosófico' llamativo en un físico experimental).

Segundo. Su propiedad más característica, de evidencia absoluta, la explica así: <<constituye un todo perfectamente continuo, desprovisto de estructura atómica>>. Esta hipótesis de continuidad del éter se justifica porque <<únicamente los medios perfectamente continuos y sin estructura alguna, son capaces de transmitir con idéntica celeridad un movimiento vibratorio de cualquier período>> y porque <<no sería de otra suerte posible explicar la constancia de la velocidad de propagación de las ondas luminosas en el vacío, cualquiera que sea su frecuencia>>.

Tercero. <<En definitiva, la transmisión de las fuerzas que aparentemente actúan a distancia, exige la presencia del éter como un medio continuo que llena el vacío y penetra en el seno de la materia>>.

Cuarto. <<Prescindiendo de la gravitación, fenómeno cuya naturaleza es tan mal conocida como bien determinadas se encuentran sus leyes ...>>.

Quinto. <<... las acciones electromagnéticas son las únicas que han menester de tal vehículo, pues la teoría electromagnética de la luz ha reducido la energía radiante a la propagación del campo electromagnético a través del espacio>>.

Sexto. Dado que el éter es medio transmisor de las acciones electromagnéticas, las cualidades que deben asignárseles al éter deben definirse según las ecuaciones de condición que han de satisfacer los campos eléctrico y magnético y las magnitudes que de ellos derivan ... Y así continúa el discurso eteriano.

Séptimo. El sistema de ecuaciones de Maxwell basta para explicar analíticamente los fenómenos que en el vacío se originan, y, en consecuencia, <<su enunciado encierra toda la noción del éter>>. Además, las ecuaciones de Maxwell <<envuelven también el máximo de lo que sobre su naturaleza podemos saber, pues ya veremos como toda mayor especificación de la misma ha conducido en todo tiempo a resultados que no concuerdan con la experimentación, o repugnan a nuestra inteligencia>>.

Y octavo. Finalmente, su juicio histórico: <<la mayoría de los sabios de espíritu verdaderamente físico, busca, y ha buscado en todo tiempo con verdadero anhelo, una imagen clara y precisa de lo que el éter sea, imagen que nada agrega a la definición indicada ...>>.

Después de esta síntesis de su pensamiento y como notas complementarias de interés me parece oportuno hacer algunas consideraciones de otra naturaleza. Así, en la página 60 de su “Discurso” se ofrece una especie de prelude de la relatividad general. Está hablando de la relatividad pero ni ésta ni Einstein aparecen. Sí está al día en lo que puede denominarse *constitución de la materia* y está impregnado de la *The Theory of electrons* de Lorentz.

Otra cuestión de especial interés para justificar nuestro aserto de que las noticias que tiene de Einstein en 1910 son, a lo sumo, superficiales y no merecedoras de atención preferente, es la siguiente. No la ignorancia de las consecuencias para el éter de la relatividad restringida sino el hecho de que en cuestiones de tanto interés y relevancia cita a numerosos físicos, sin que aparezca nunca el nombre de Einstein ya suficientemente conocido. He aquí la nómina: Abraham, Barnett, Becquerel, Bessel, Braun, Brewster, Bucherer, Burton, Chwolson, Descartes, Dubois, Dufour, Faraday, Fitzgerald, Fizeau, Fresnel, Green, Hamilton, Heaviside, Helmholtz, Hertz, Huygens, Hull, Kauffmann, Kelvin, Kirchhoff, Koenigs, Jeans, Langevin, Laplace, Larmor, Lebedev, Lodge, Lorentz, Mac Donald, Mac Cullagh, Mascart, Maxwell, Neumann, Newton, Nichols, Poincaré, Quincke, Richardson, Ritz, Rowland, Rubens, Schwarzschild, Snell, Stokes, Thomson, Voigt, Weber, Wellish, Wiener, Wilson, Zeeman. Ha citado, con conocimiento cierto y bien documentado, un gran número de físicos presentes y operantes en el cambio de paradigmas y en los descubrimientos en el cambio de siglo y principios del XX, pero aún no se ha alimentado ni, por tanto, ha digerido una parte sustancial de lo que se alumbró.

---

A finales de 1911 Einstein es una ‘autoridad’ en la Física europea. Y vuelve al tema de la relatividad que había abandonado.

Por lo que respecta a Cabrera, una conclusión parece obvia: en el ‘momento más solemne’ de su vida (1910) no conoce aún lo más auténticamente nuevo o revolucionario en la Física: la teoría de la relatividad restringida de Einstein, tampoco el resto de los trabajos del físico judeo-alemán. Pero lo importante a mi juicio, después de tanta solemnidad, no es lo que acabo de afirmar (presumiblemente como cierto); lo importante es que el catedrático de la Universidad Central y académico de Ciencias tiene conciencia clara en este tiempo propio de que a pesar de su envidiable

posición en España no es nadie en el concierto de la Física europea y de que aquí y así no puede serlo de ninguna manera. Debe buscar la senda de Europa.

Las palabras de Echegaray -a la sazón catedrático de Físicomatemática de la Universidad Central y presidente de la Academia de Ciencias- de “Contestación” al “Discurso” de Cabrera de ingreso en ésta, constituyen una referencia ya común que no tengo por qué eludir: <<¡Ojalá que lleguen pronto los tiempos del trabajo alegre y de la alegría trabajadora!>>. Por lo que respecta a la Física en España y a Blas Cabrera puede decirse, con las limitaciones propias de los quehaceres y los convivires humanos, que el grito de Echegaray fue un maravilloso prelude de lo por venir. Pasemos la página.

**LA TARDÍA PERO PROGRESIVA ACEPTACIÓN DE LA  
RELATIVIDAD ESPECIAL:  
EN TORNO AL UNIVERSO DE MINKOWSKI  
(1912-1917)**

La etapa que deseo singularizar en este capítulo abarca desde el viaje de Cabrera a Zurich, al encuentro de Moles, para juntos aprender en el laboratorio de Pierre Weiss, en 1912, hasta la publicación del libro *¿Qué es la electricidad?* editado por la Residencia de Estudiantes en 1917.

**1. EL QUEHACER DE EINSTEIN: LA FORMULACIÓN DE LA RELATIVIDAD GENERAL<sup>9</sup>**

Einstein, en 1912, es profesor en el Instituto Politécnico de Zurich. En 1913 será nombrado director del Instituto de Física Kaiser-Wilhem de Berlín y miembro de la Academia Prusiana de Ciencias.

Desde 1912 está inmerso en el proceso que puede denominarse de búsqueda (intelectual, ¡claro!) de una formulación adecuada para la relatividad general en la que está empeñado. Encuentra, a la luz iniciada por Minkowski, una vía en la que confía: el análisis tensorial, denominado entonces ‘cálculo diferencial absoluto’.

En la sesión del 25 de noviembre de 1915 de la Academia Prusiana de Ciencias, Einstein comunica la conclusión de sus trabajos en este tema con la *formulación definitiva* de la relatividad general, mediante las *ecuaciones de campo gravitacional*, hoy ya clásicas, que se escriben bien de la forma

$$R_{\alpha\beta} = k \left( T_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} T \right)$$

o bien de esta otra:

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} R = k T_{\alpha\beta}$$

---

<sup>9</sup> Para más detalles puede verse Sánchez Ron (1985).

En la última expresión se separan los términos de 'naturaleza geométrica' (primer miembro) de los de 'naturaleza energética' (segundo miembro) de modo que quedan igualados. Estas ecuaciones, en consecuencia, implican una nueva revolución no suficientemente analizada: la que afecta al principio de homogeneidad (aceptada como postulado general de la Física) de las ecuaciones de la Física y a los temas de Análisis Dimensional.

La difusión de la relatividad general fue prácticamente inmediata, de forma asombrosa. Tuvo una primera y especial acogida en dos focos: Leiden y Gotinga.

En Leiden se encontraban, entre otros, H.A. Lorentz, P. Ehrenfest, H. Kamerling Onnes y W. de Sitter. Unas palabras relativas a cada uno de ellos pueden resultar de interés para nuestro objeto.

Lorentz es el líder de la física mundial de las dos primeras décadas del presente siglo. A él se deben, entre otras aportaciones, la *teoría del electrón* de la que había quedado embebido Cabrera. Lorentz tardó en aceptar la relatividad especial de Einstein pero una vez asumida se convirtió en ferviente defensor del físico alemán. La relatividad general la aceptó prácticamente de inmediato y se convirtió en un gran difusor de la misma. El papel de Lorentz, dado su prestigio, puede considerarse como determinante en este proceso de aceptación generalizada inmediata, no exenta, por supuesto, de contradictores, ante la magnitud de la revolución.

Ehrenfest era, por una parte, amigo de Einstein, y, por otra, marido de Tatiana Afanassjewa, en aquellos momentos una pionera del aún no nacido Análisis Dimensional. Paul y Tatiana eran básicamente matemáticos.

Kamerling Onnes, se había dedicado con éxito al campo de la estructura de la materia, en especial a dos temas del mayor interés para Cabrera: el magnetismo de la materia y la criogenia (bajas temperaturas); su laboratorio de Leiden era, probablemente, el más famoso e importante del mundo en estas cuestiones.

De Sitter es uno de los primeros en aplicar la relatividad a lo que puede considerarse como cosmología física. Por otra parte, a él se debe la introducción, algo tardía, de la relatividad en Inglaterra.

## 2. EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS Y LOS VIAJES AL EXTRANJERO

Mientras tanto ¿qué pasa en la física española?

En 1910 la Junta para Ampliación de Estudios había creado el Laboratorio de Investigaciones Físicas, en el antiguo hipódromo de Madrid, colindante con el Laboratorio de Automática de Torres Quevedo. Puesto en 1911 bajo la dirección de Cabrera, parece ser que se inauguró en 1912. Don Blas tuvo un auténtico control del Laboratorio, incluido el financiero.

Otro de los objetivos de la Junta era enviar científicos españoles a centros europeos de prestigio. El quehacer de estos pensionados, en síntesis, debía consistir en: a) estudiar -especializarse en- un tema de actualidad científica; y b) regresar con un programa de investigación que se continuara en España.

Por lo que respecta a Blas Cabrera, como ya he repetido (y no lo considero superfluo, dada la importancia que le concedo a este hecho), en 1912 marcha a Zurich con Enrique Moles, con la finalidad de especializarse junto a Pierre Weiss en Magnetoquímica. Como consecuencia de esta estancia en Suiza el físico canario encontró la línea de investigación experimental que le ocuparía toda su vida. De modo singular, y anecdótico, puede decirse que fue 'fiel' al magnetón de Weiss.

Más tarde, Cabrera, ya especialista en magnetismo y consciente de la imposibilidad de alcanzar en su Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas los rangos bajos de temperatura precisos para sus investigaciones en magnetismo, facilita, en 1916, al entonces muy joven Julio Palacios, recién conquistada la cátedra de Termología de la Universidad Central a los veinticinco años, una pensión para que se especializase junto a Onnes en bajas temperaturas. Nuestro Palacios se dedicó más bien a los otros temas que hemos indicado en los párrafos anteriores: Análisis Dimensional y Relatividad, a los que se dedicaría con desigual fortuna (gloria y fracaso -sociales-, respectivamente) en la última parte de su vida. En su curriculum, Julio Palacios, al hacer la síntesis correspondiente a los años 1916-18 que estuvo en Leiden (Holanda), escribe:

<<1916-1918. Holanda. Se traslada a la Universidad de Leiden, en plena guerra europea, pensionado por la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, a colaborar con Kamerling Onnes en el Laboratorio de Bajas Temperaturas.

Sus trabajos experimentales se publican en holandés, inglés y español.

Asiste a los cursos de Física Teórica de Lorentz y a los coloquios de Ehrenfest.

Regresa a España en el primer tren que cruza la frontera después del Armisticio>>.

Como puede apreciarse Einstein está bien presente en la Física española desde 1916 en la persona -ausente de España en aquellos momentos- de Julio Palacios.

Un poco más tarde, y fuera del período que ahora comento, Miguel Catalán es pensionado para trabajar con Alfred Fowler en el Imperial College de Londres (1920-21), donde descubriría los famosos *multiplates* en el

espectro del manganeso.

Puede detectarse, por una parte, que existió una alta correlación entre el estudio en el extranjero y la productividad científica; y, por otra, que la continuidad en los trabajos iniciados en el extranjero en los casos de Moles, Cabrera y Catalán resultó excepcional. No siempre fue posible la pretendida continuidad de los trabajos iniciados en el extranjero. Los casos (¿estériles?) de Martínez Risco (Zeeman, 1911, óptica, Holanda) y de Julio Palacios (Onnes, 1916-18, bajas temperaturas, Holanda) quizás hayan sido los más significativos en el campo de la Física.

### 3. CABRERA, INVESTIGADOR EXPERIMENTAL EN MAGNETISMO. SU ENCUENTRO CON EINSTEIN EN 1912 EN ZURICH Y SU CONVERSIÓN A LA RELATIVIDAD

La que puede considerarse a estas alturas, quizás, como máxima autoridad de la Física en España -catedrático de la Universidad Central, académico de Ciencias, director del Laboratorio de Investigaciones Físicas- es prácticamente un modesto estudiante en Zurich que es aceptado en un descansillo de una escalera para que realice unas mediciones experimentales.

En una obra anterior sobre Cabrera<sup>10</sup> he considerado como notas caracterizadoras de la segunda etapa de la vida del físico lanzaroteño, que se inicia después del viaje a Zurich, las que, entre otras, se exponen a continuación.

Primera. El contexto de su trabajo queda determinado por la *dirección de un centro de investigación física*, lo que constituye una novedad radical en España, que impelerá al trabajo en equipo y a la formación de grupos, aunque sean pocos y reducidos, de trabajo colectivo.

Segunda. Se inicia el *contacto con el extranjero*. Cabrera salió con Moles a Zurich para estudiar con Pierre Weiss, 'autoridad' mundialmente reconocida en el campo del magnetismo. Fueron para estudiar magnetismo y para conocer laboratorios europeos de prestigio.

Tercera. Trabajo *experimental* en torno a un tema, elección de especialidad: *Magnetismo*. Trabajos que realizará, en alguna medida, en *colaboración*. (Pueden verse detalles complementarios de interés en el libro citado).

Cuarta. Paralelamente, quizá como consecuencia de que se le va considerando la 'autoridad española de la Física' y ante el impacto de esta ciencia en la sociedad es requerido, y él parece que disfruta con ello, para hablar de física. Resulta, aparentemente al menos chocante, que en esta tarea de *difusión de la cultura científica*, en la que puede considerarse como

<sup>10</sup> González de Posada (1994b) *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre*, págs. 66-75.

maestro, no habla prácticamente nunca del magnetismo, su especialidad. Me atrevo a decir que es un generalista que luce en una especialidad experimental. Paulatinamente va a estar al tanto de la ciencia física en sus diferentes manifestaciones. Así parece interesante destacar que los temas objeto de sus presencias –numerosas– públicas versarán en torno a la relatividad o en torno al átomo. Los mundos de lo grande (Cosmos) y de lo pequeño; del macrocosmos y del microcosmos. Podría decirse que, entonces como ahora, *vendían* estos temas.

Quinta. Publica en *revistas extranjeras* de prestigio internacional.

Por lo que interesa a nuestro trabajo presente debe destacarse de la presencia de Cabrera en Zurich su encuentro con Einstein. Quiero decir, no sólo que vio, saludó o conoció a Einstein, sino que, de alguna manera, probablemente por el aura ambiental que rodeaba ya al físico alemán, conoció y valoró lo hecho hasta ese momento por él. No parece presentar dudas que nacen, para Cabrera, tenuemente, la relatividad (y su mundo) y Einstein, tema y personajes ausentes de la vida y de la obra de Cabrera hasta ese momento. Aquí podría comenzar propiamente nuestra historia.

Es momento de limitarnos, por una parte, a las publicaciones de la etapa de este capítulo, y, por otra, hacerlo sólo con aquellas que tienen una relación relevante con Einstein y la relatividad. En este marco se inscriben los siguientes puntos de contexto y comentarios acerca de sus trabajos.

#### 4. “PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ANÁLISIS VECTORIAL EN EL ESPACIO DE TRES DIMENSIONES Y EN EL UNIVERSO DE MINKOWSKI” (1912-13)

Durante los años 1912 y 1913, Blas Cabrera, publica en la Revista de la Real Academia de Ciencias un auténtico libro de *Análisis Vectorial* en el que hasta el lenguaje coincide ya con el actual. Es un libro bien elaborado por un profesor preparado y que lleva años dedicado a esta tarea. Es, por otra parte, un texto necesario de clase previo al curso propiamente de Electricidad. Y también es su trabajo extenso primero como profesor y puede considerarse como su primer libro aunque no se editara nunca como tal. Reitero la conveniencia de una primera edición que bien podrían patrocinar las Universidades canarias o la hoy Complutense de Madrid (entonces Universidad Central), de la que fue catedrático y rector.

Este libro de texto editado por entregas en una revista científica me sugiere, en esta ocasión, las consideraciones siguientes.

Primera. Es un libro formal, de física-matemática.

Segunda. Es un buen libro de Análisis vectorial y tensorial.

Tercera. Es un libro que aún hoy puede leerse con interés y provecho.



No ha perdido actualidad en su ámbito.

Y cuarta. Es un libro inédito que debe dejar de serlo.

Su estructura puede considerarse, desde la actualidad, como clásica. He aquí el índice.

Capítulo I. Nociones de magnitudes físicas y álgebra de vectores.

Capítulo II. Análisis Vectorial.

Capítulo III. Campos vectoriales.

Capítulo IV. Tensores.

Capítulo V. Las ecuaciones del campo electromagnético y los fenómenos en los cuerpos en movimiento.

Capítulo VI. Principio de Relatividad.

Capítulo VII. La Geometría del espacio de Minkowski.

Capítulo VIII. Vectores en el Universo de Minkowski.

A la vista del título, de su contenido y de la nota final de la última separata parece que la obra quedó inconclusa.

## 5. “APLICACIÓN A LA FÍSICA DE LA GEOMETRÍA DE LAS CUATRO DIMENSIONES” (1914)

El 28 de marzo de 1914, en el Instituto de Ingenieros Civiles de Madrid, dictó una conferencia, publicada, de título “Aplicación a la Física de la Geometría de las cuatro dimensiones” en la que expone con brillantez el ‘estado de la cuestión’ preponderante en unos momentos en los que Einstein se enfrenta con la búsqueda de lo que concluirá en la relatividad general. Este texto es el primero de Cabrera que se reproduce en los anexos, Anexo I, y a él referimos al lector en estos momentos de la lectura para que se encuentre ya directamente, sin intermediación, con escritos completos del propio Cabrera.

De vuelta a este lugar, por parte del lector, tras su excursión por los Anexos, a modo de notas marginales sí me parece oportuno hacer algunos comentarios.

Primero. Señalar el papel progresivamente relevante de Cabrera en la sociedad española: aquí se manifiesta su presencia primera entre los Ingenieros, mundo de tradición y prestigio cultural científico muy superior, en la España de la época, al de los propiamente científicos. Esta conferencia sería editada, convirtiéndose también en su primera conferencia difundida.

Segundo. Indicar que el tema central de esta primordial salida pública, aunque no se explicita como tal, es precisamente si no la teoría de la relatividad especial como tal sí la idea del principio de relatividad.

Tercero. Destacar la claridad y la precisión de Cabrera en los ámbitos de la Matemática y de la Filosofía que distingue, complementa y considera

Matemática en el desarrollo de la Física quiero reproducir, por su interés, los primeros párrafos que constituyen la introducción del trabajo:

<<Me propongo exponer las ideas y conceptos fundamentales de un capítulo de la Ciencia que ha puesto de manifiesto una vez más cómo teorías matemáticas que parecían en un principio sin utilidad práctica han llegado a convertirse en auxiliar poderoso para el progreso de las ciencias naturales. Realmente no es este caso nuevo, ni hay en ello motivo alguno de extrañeza, porque una teoría matemática se reduce en último análisis a un razonamiento complicado, un método de pensar, aplicable a hechos u objetos reales que cumplan con determinadas condiciones, sea cual fuere su naturaleza. Baste recordar que tanto la teoría de la elasticidad, como la conducción del calor y la electricidad, la hidrodinámica, como el problema de la distribución del campo electromagnético; en una palabra, la casi totalidad de la Física clásica<sup>11</sup> se fundan en la resolución de una ecuación de derivadas parciales, cuya forma más completa es

$$\Delta u = k \frac{d^2 u}{dt^2}$$

Y entendido así es concebible que una de esas formas de razonar, una de esas teorías matemáticas, permanezca un tiempo más o menos largo sin encontrar objetos adecuados a qué aplicarse, y no sólo es concebible, sino además deseable, porque si al surgir en las ciencias experimentales un conjunto de hechos nuevos, refractarios a todos los métodos clásicos, disponemos de otros bien apropiados, el progreso científico se realiza con paso seguro; mientras que si la teoría matemática adecuada no ha nacido, la Ciencia ha de proceder por tanteos inseguros y sin dar la impresión de una construcción sólida.

La física moderna nos suministra un ejemplo de cada uno de estos dos casos posibles. De una parte, la teoría de la relatividad, de cuyo aspecto geométrico vamos a ocuparnos; de otra, la hipótesis de los *quanta*. Ambas han nacido de una manifiesta oposición entre los

---

<sup>11</sup> Al interés intrínseco de la cita quiero añadir una nota de actualidad y de relación entre dos figuras de reconocido prestigio en la ciencia nacional. Paralelamente al cincuentenario de la muerte de Blas Cabrera, en 1995 Amigos de la Cultura Científica conmemora el centenario de la edición de la *Memoria sobre las máquinas algébricas - o analógicas -* de Torres Quevedo. Sobre "Analogía. Física, filosofía, matemática" se ha previsto que dicte un curso en el marco del III Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra" (Pozuelo de Alarcón, Madrid, 24 a 28 de abril de 1995). Glosaré estos párrafos de Cabrera sobre el más prolífico de los modelos matemáticos en cuanto a número de teorías físicas útiles que con él son analógicas entre sí.

hechos o fenómenos naturales y los métodos de razonar clásicos; pero mientras la primera encontró teorías matemáticas que se amoldaban a su naturaleza y avanzó rápidamente, engendrando un cuerpo de doctrina de lógica impecable, la segunda busca aún su expresión adecuada, y a pesar de que desde el punto de vista experimental se presenta preñada de promesas y permite vislumbrar un horizonte inmenso, lógicamente es un edificio sin cimientos, peor aún, fundado en principios que son contradictorios.>>

También la conclusión, complemento exquisito de la introducción, merece reproducirse:

<<Hemos visto cómo una aparente contradicción entre dos hechos experimentales ha obligado a sustituir la noción simple del universo euclidiano de tres dimensiones, y del tiempo como magnitud absolutamente independiente del mismo, por un universo más amplio, en el cual el tiempo tiene el carácter de una nueva dimensión, pero dimensión *sui generis*, sin confusión posible con las otras tres, circunstancia que determina el carácter no euclídeo de su geometría. Y no podía ser de otro modo, porque la diferencia esencial entre el tiempo y el espacio no es caprichosa, sino una imposición de la Naturaleza misma, o, por lo menos, de la representación que de ella podemos formarnos.

Decíamos al empezar que la teoría de la relatividad constituye una confirmación concluyente de las ventajas que a las ciencias naturales reporta el encontrar una teoría matemática constituida, que sea aplicable a todo conjunto de hechos refractarios a los métodos clásicos, y no creemos necesario insistir en ello. Imaginemos que la posibilidad de las geometrías que no admiten los postulados de Euclides fuese ignorada actualmente por la matemática, y cuanto hemos dicho anteriormente aparecería como una serie de absurdos escalonados.>>

Cuarto. Resulta extraño, por otra parte, en un hombre que de ordinario se presenta haciendo gala de gran erudición que no cite expresamente ni a Einstein ni a Minkowski -que serían obligados-, tampoco a Newton -que sería apropiado-, y sí, sólo, a Euclides.

Quinto. Lo más interesante en el curso de nuestro trabajo: en 1914 Cabrera ya es claramente relativista especial.

## 6. ¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD? (1917)

Esta etapa de Cabrera, 1912-1917, se corona con la publicación de su primer libro formal, *¿Qué es la electricidad?*, editado por la Residencia de Estudiantes que espero reeditar en el marco de las *Obras completas comentadas*. Me parece interesante, a modo de notas sintéticas, hacer las siguientes consideraciones respecto de este libro de 1917.

Primera. Habla, expresamente -y repetidamente- de Einstein.

Segunda. Y, sobre todo, adjura de su creencia en el éter. El proceso narrativo en el libro es de sumo interés y de una belleza exquisita.

Tercera. De hecho -a la luz del texto- parece que no tiene noticia, en enero de 1917, de la relatividad general y ahora, ya, a pesar de la guerra europea, dados los intercambios científicos al margen de la misma, resulta raro.

Cuarta. Su conversión a la relatividad es asombrosa. Tras un largo catecumenado, este texto supone su ordenación. Pronto, quizás con él, iniciará su periplo apostólico relativista.

Quinta. Su aceptación ha sido -nos dirá él- por necesidad; es decir, por su creencia superior en los hechos que en las teorías.

Sexta. Está intelectual y afectivamente predisposto para recibir a Einstein y a la relatividad general.

---

En 1917 Einstein ha concluido sus estudios sobre relatividad con la publicación de *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Le queda, en este respecto, esperar y recoger frutos.

Cabrera es un conocedor de la relatividad especial predisposto a recibir y aceptar de buen grado todo lo que provenga de Einstein, como puede detectarse con suma facilidad en la lectura de su *¿Qué es la electricidad?*

## ANTE LA RELATIVIDAD GENERAL (1918-1922)

En este capítulo pretendo comentar la etapa de Cabrera que se inicia con la difusión de su *¿Qué es la electricidad?* y concluye en torno a finales del 22, ya en vísperas de la venida de Einstein a España, acontecimiento científico-social de primera magnitud (algo así como la “visita del siglo”).

### 1. LA ‘CONFIRMACIÓN’ DE LA RELATIVIDAD GENERAL: EL MITO EINSTEIN

En los primeros años que siguen a la formulación de la teoría general, Einstein dedica una cierta atención preferente a las relaciones de la relatividad con la cosmología. Desde una perspectiva más radical y propiamente científico-creativa está ocupado en la tarea de la construcción de una teoría unificada de campos que incluya lo gravitacional y lo electromagnético.

Un acontecimiento de singular trascendencia social e intelectual para la Física, y para el pensamiento del siglo XX, tuvo lugar en el año 1919. La organización por astrónomos ingleses, bajo la dirección de Eddington y de Dyson, astrónomo real, de dos expediciones, en mayo, para observar, desde la isla Príncipe (Africa) y desde Sobral (Brasil), el eclipse solar previsto con el fin de analizar si se cumplía o no la predicción de la relatividad general sobre la desviación de los rayos de luz en las proximidades de una gran masa, contemplando la luz de estrellas lejanas alineadas con el eclipse solar.

La predicción relativista se manifestó acertada. Eddington comunicó el día 6 de noviembre de 1919 en una reunión extraordinaria conjunta de la Royal Astronomical Society y la Royal Society of London el resultado positivo de la expedición en tanto que se había confirmado la predicción de Einstein. La prensa colaboró al nacimiento, ¡en y desde Inglaterra!, del mito Einstein, que alcanzó impresionantes cotas de popularidad en los más diversos ámbitos. (Inglaterra, que recibió muy tardíamente al continental Einstein y a su obra, lo encumbró como antes había hecho el continente con Newton). A partir de aquí todo se desarrolla por otros derroteros -los propios de la fama- y bajo más amplias perspectivas. Ortega diría en 1923 de la relatividad que era <<el hecho intelectual de más rango que el presente puede ostentar>>.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> “El sentido histórico de la teoría de Einstein”, apéndice usual de *El tema de nuestro tiempo* (1923).

Otro aspecto de singular interés es que la teoría de la relatividad se sitúa, de una u otra manera, en estos momentos, como origen de diversas escuelas de filosofía de la ciencia que se establecen en el primer tercio del siglo XX. Citemos, aunque sea sólo de pasada, dos de ellas.

En 1917, Moritz Schlick publica *Espacio y tiempo en la física contemporánea*; en 1920, Hans Reichenbach su *La teoría de la relatividad y el conocimiento a priori*; en 1922, Rudolf Carnap su tesis doctoral *El espacio*. En este año de 1922 se agrupan bajo el rótulo de “Círculo de Viena” y la dirección, aparente al menos, de Schlick un conjunto de filósofos y científicos en número creciente y con talante de apertura.

Percy William Bridgman, creador de la disciplina *Análisis Dimensional*<sup>13</sup>, y de la escuela de filosofía de la ciencia que se denomina “operacionalismo” hincó para éste sus raíces en la relatividad.

Dominando el panorama destaca sobre todo la fama científica y social de Einstein, pero comienzan dos tipos de problemas: a) unos, llamémosles intelectuales, debidos a la firme oposición a tanta revolución conceptual por diferentes, y numerosos, científicos, aunque no ciertamente los considerados como más destacados; y b) otros, llamémosles políticos, consecuencia de los primeros ataques antisemitas contra su obra que irían en progreso contra él en tanto que era de raza judía.

En 1921 realiza su primer viaje a los Estados Unidos, dictando unas conferencias en Princeton que se publican con el título de *El significado de la relatividad*, que constituye a mi juicio el mejor y más completo de los textos sobre relatividad.

En la cumbre de la fama recibe el premio Nobel de Física, concesión que se justifica formalmente por su trabajo de 1905 relativo al efecto fotoeléctrico.

## 2. LA RECEPCIÓN Y DIFUSIÓN DE LA RELATIVIDAD GENERAL EN ESPAÑA<sup>14</sup>

En 1916, en plena guerra europea, existe ya en España un cierto contacto regular y normal con las corrientes principales de la ciencia continental. A principios de los años 20 los investigadores de los ámbitos científicos directamente relacionados con la relatividad -física, matemática y astronomía- se encuentran aceptablemente próximos a sus equivalentes europeos no españoles. Existe, en síntesis, un clima propicio para la recepción

<sup>13</sup> Puede verse *El Análisis Dimensional de P.W. Bridgman* de F. González de Posada (1990), Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional, Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>14</sup> En este apartado soy deudor principalmente de Glick (1986).

de Einstein y de su obra.

En el ámbito matemático, parece conveniente recordar que en 1915, a propuesta de Rey Pastor, la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas creó el Seminario Matemático y el Laboratorio Matemático. Entre los discípulos de Rey Pastor, ‘nuevo ambiente de la matemática española’, Lorente de No y Puig Adam trabajaron en relatividad. En concreto, Lorente de No estuvo con Tullio Levi-Civita en Italia estudiando relatividad. Para su tesis (sobre relatividad), Puig Adam consultó a Levi-Civita en varias ocasiones. Puede decirse que la matemática española estuvo relacionada con, o fue dependiente de, la de Italia, foco importante de estudio matemático de la relatividad. (Pueden recordarse el Seminario de Vito Volterra, los trabajos pioneros de Levi-Civita y la revista *Scientia*. En resumen, puede afirmarse, con razón, que <<El grupo de Rey Pastor fue el núcleo de la recepción de la teoría de la relatividad en España. Los físicos y astrónomos que participaron en el proceso lo hicieron antes como individuos que como miembros de una red disciplinaria articulada de discusión. El principal foco institucional de recepción, además del Seminario Matemático, fue la Sociedad Matemática de Madrid (fundada en 1911) cuyas discusiones pueden seguirse en la Revista Matemática Hispano-Americana, fundada por Rey Pastor en 1919>> (Glick, 1986, pág.18). Este juicio de Glick es sumamente válido, con dos condiciones: primera, que se refiere a la relatividad, restringida y general, en la época de primera difusión de la general; y, segunda, que no se considera, que el primer español, es cierto que no en España, que recibe el ‘impacto’ de la relatividad general es el físico Julio Palacios durante su estancia en Leiden, principal foco receptor y difusor de la relatividad en el mundo, como describe Sánchez Ron (1985, págs. 182-187) y hemos recordado en el capítulo anterior. Para conocer este tema debo referirme a mi libro aún inédito *Julio Palacios ante Einstein y la relatividad*.

Este trabajo de los matemáticos tiene lugar en las instituciones citadas ‘al margen de la Universidad’ y ‘a pesar de la Universidad’. No obstante, <<... la alta cualidad de la formación de sus miembros, sus conexiones internacionales y su fuerte cohesión interna hacen inteligible la rápida y casi unánime aceptación de la relatividad por parte de la comunidad científica española>> (Glick, 1986, pág. 20).

En el ámbito de la Física la recepción y difusión tuvo lugar de manera diferente. En principio, a todos los matemáticos podía interesarles la relatividad en tanto que requería del Cálculo diferencial absoluto o Análisis Tensorial en espacios de Riemann, capítulo o rama de la matemática que se pone de moda con la teoría de Einstein.

Blas Cabrera, a los efectos científicos, vivió también al margen de la Universidad, En ‘su’ Instituto se vigorizó o nació propiamente el ‘hacer física’ en España, en él se convirtió Blas Cabrera en ‘padre’ de la Física

española. Independencia de y al margen de la Universidad, aunque algunos, como del Campo, Cabrera y Palacios, fueran catedráticos de la Facultad de Ciencias también ... pero investigaban aquí. En el entorno de 1920, casi toda la investigación científica española en física experimental estaba concentrada en el Instituto 'de' Cabrera como ha puesto de manifiesto Valera (1981) al estudiar los artículos de los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*<sup>15</sup>.

En 1921 se inicia un cierto flujo de científicos extranjeros hacia España, incluyendo las principales figuras en relatividad. Tullio Levi-Civita dicta cursos de Mecánica clásica y relativista en Barcelona y Madrid en enero-febrero de 1921. Durante los meses de marzo-abril de 1922, Weyl, Sommerfeld, Honigschmid y Fajans imparten lecciones en Madrid y Barcelona.

El resumen de Glick (1986, pág. 40) parece interesante: <<En el caso particular de la recepción de la relatividad el control de las instituciones y grupos clave de física y matemáticas por personas favorables a Einstein predeterminó la amplitud, profundidad y grado de recepción no sólo en esos campos, sino en toda la comunidad científica. En este proceso las redes de comunicación fueron de total importancia. El patrón de recepción habría sido profundamente diferente si los matemáticos españoles no hubieran estado en estrecho contacto con sus colegas italianos, que habían hecho una contribución directa a la teoría de la relatividad, o si en lugar de ello hubieran establecido lazos con algún otro grupo nacional de matemáticos menos interesado o desinteresado en el problema>>.

En este breve resumen acerca de la Física en España es ineludible repetir que en 1922 un físico español, Miguel A. Catalán, salta a la fama internacional por su descubrimiento de los *multiplétes* en el Imperial College de Londres. Sommerfeld vendrá a Madrid a conocer directamente a Catalán y su obra, de importancia capital para sus concepciones teóricas de naturaleza cuántica.

### 3. CABRERA, DIFUSOR DE LA RELATIVIDAD

En este contexto de casi (casi, por el 'caso Palacios') generalizada aceptación en España de la relatividad, Cabrera, en su condición ya asumida de 'padre' de la Física española (un tanto al modo ejemplar de Lorentz en Europa), ocupará el papel primordial y, además, socialmente relevante. Se convierte en apóstol incontestado de la nueva doctrina.

<sup>15</sup> Manuel Valera Candel, *La producción española en física a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1903-1937*, tesis doctoral, Universidad de Murcia, 1981.



En el viaje que realiza a la República Argentina en 1920 dicta varias conferencias sobre relatividad en la Sociedad Argentina (Buenos Aires) y en la Universidad de Córdoba. En los años 1921 y 1922 varía en el Ateneo de Madrid y en el otoño de 1922 en la Facultad de Ciencias de Madrid.

Este trabajo continuado, paralelo a -e independiente de- su quehacer experimental en magnetismo de la materia, concluirá en la publicación del libro *Principio de relatividad* que será objeto de atención preferente en el próximo capítulo de este ensayo.

Comentaré a continuación las publicaciones de Cabrera en este período, 1918-1922, que tienen relación con nuestro tema.

#### 4. “LAS FRONTERAS DEL CONOCIMIENTO EN LA FILOSOFÍA NATURAL” (1920)

El día 4 de septiembre de 1920, en la Facultad de Filosofía y Letras de Buenos Aires (Argentina), Blas Cabrera lee la conferencia de título “Las fronteras del conocimiento en la Filosofía natural” que se publica en el periódico *Tribuna Española* (Buenos Aires) en homenaje al huésped, y se edita en *Verbum* y en un folleto especial a modo de separata.

La introducción de Cabrera, que se presenta ante un auditorio de filósofos, posee una actualidad y una fuerza tales que no me resisto a su reproducción directa e íntegra:

«Hubo una época en que el abuso de intromisión de la metafísica en las tentativas para descifrar los problemas que plantea la naturaleza alejó a los cultivadores de la filosofía de aquellos otros dedicados al estudio de las ciencias positivas. Fruto desgraciado de este alejamiento fue la división en dos de la antigua Facultad de Filosofía que realizó, en Francia, Napoleón y se extendió más tarde a otros países latinos, gracias a lo cual ha perdurado un divorcio que es profundamente perjudicial para unos y otros: para los genuinamente filósofos, porque no hallan fácil el acceso al dominio propio de las ciencias de la naturaleza, únicas que pueden plantearles cada día problemas esencialmente nuevos, y gastan sus energías en un terreno demasiado esquilmo ya por docenas de siglos de trabajo, en el que fácilmente se cae en sencillos juegos de palabras. Para los científicos, porque educan su espíritu con una estrechez de miras que se refleja en la escasa grandeza de sus creaciones por la falta de contacto con los aciertos y fracasos de los grandes genios que la humanidad ha producido.

Por eso en uno y otro campo empieza una reacción beneficiosa, y a ella, sin duda, se debe el que vosotros me hayáis invitado y que yo haya aceptado a dar esta conferencia en la cual voy a

hacer unos pinitos de filósofo, que a vosotros pueden servir de motivo para analizar cómo una mente educada en el cultivo de las ciencias naturales reacciona ante problemas de la teoría del conocimiento.

Para proceder con método comenzaré declarando que entiendo por filosofía natural el estudio de las leyes fundamentales que rigen los fenómenos de la naturaleza. Y considero fronteras del humano saber en este dominio aquellos grupos de fenómenos, que no parecen adaptables a las exigencias de la ciencia constituida y exigen la modificación de sus postulados>>.

Bellísimo trabajo de recomendable lectura total pero al que tampoco he podido dar cabida en los Anexos. El contenido es parecido, por su estructura, al de otros artículos que comentaré también. Se divide en dos partes: primera, teoría de la relatividad; segunda, teoría de los *quanta*.

Por lo que respecta a nuestro tema, interesa la primera parte. De ella haré unas consideraciones.

Este texto representa la primera manifestación escrita de cierta envergadura en la que proclama su fe relativista general.

Una idea que reitera Cabrera a lo largo de su vida es la de que la teoría de la relatividad se ha constituido en muy escaso tiempo por disponer de una construcción lógica intachable; pudo disponer de los métodos de razonar adecuados -la teoría matemática del 'cálculo diferencial absoluto'- al problema que tenía planteado la ciencia en este campo, métodos que se conocían con anterioridad. Las contradicciones, en todo caso, se presentarán con otras concepciones, pero intrínsecamente es absolutamente coherente. (Diferente es el caso, dice él, de la teoría de los *quanta*<sup>16</sup>, carente de una matemática previa y de una consistencia lógica intachable).

Otra idea relevante, en la línea que destaco, es la siguiente: <<La teoría relativista, ha surgido como la única posibilidad para resolver contradicciones fundamentales entre nuestra concepción del mundo y la experiencia>>.

## 5. "LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD" (1921)

En septiembre de 1921 está fechada la publicación, como conferencia organizada en San Sebastián por la Sociedad de Oceanografía de Guipúzcoa, "La Teoría de la Relatividad" que el lector puede conocer y juzgar por su reproducción en el Anexo II. Aunque desearía dejarle libre el juicio y el

<sup>16</sup> Aún no se han descubierto los multipletes que justificarán experimentalmente, en alguna medida, la formulación de Sommerfeld de la antigua 'mecánica cuantista'. Con más razón diremos que todavía no ha nacido la que hoy denominamos *mecánica cuántica* (1925-26: Heisenberg, Schrödinger, Dirac). Los problemas, a estos efectos, son prácticamente los mismos y además continúan vigentes en la actualidad.

disfrute de la lectura de una intervención interesante para el conocimiento de la actitud de Cabrera ante la relatividad no he logrado superar el deseo de destacar algunos párrafos que estimo especialmente significativos. Sólo haré unas consideraciones que pueden considerarse complementarias de las que directamente surjan en el lector.

Primera. Recordando que Cabrera es, ante todo y sobre todo, un físico experimental que ha disfrutado de un programa de investigación prácticamente único con continuidad a lo largo de su vida -el magnetismo de la materia-, llaman la atención tanto sus conocimientos como sus recursos de tipo histórico y de naturaleza filosófica.

Segunda. El intento, que no haré -aunque parezca lo contrario-, de comentar este singular trabajo de Cabrera me llevaría probablemente a escribir otro de bastante mayor extensión que el suyo, para decir bastante menos y, sin duda, peor. Léase, pues, con atención; y después, reléase cuantas veces sean precisas para fijar el conocimiento histórico-científico-filosófico que nos facilita el profesor canario por mediación de su conferencia.

Tercera. Seleccionaré algunos párrafos, como invitación posterior para el lector, con objeto de facilitar la reflexión crítica personal acerca de las actitudes de fe científicas y filosóficas que siempre están presentes (aunque se piense lo contrario). He aquí, como digo, algunos de especial interés.

Uno. <<Las ideas, doctrinas y teorías que la humanidad va formulando para explicar la Naturaleza de que forma parte, en su fluir permanente a través de nuestra mente va dejando prendidas en la enmarañada estructura cerebral nociones que por haber pasado al dominio de lo inconsciente, parecen imponerse al Conocimiento con fuerza irresistible. La importancia que tienen para el futuro avance de la Ciencia es tanto mayor cuanto que junto a ellas, y aparentemente en el mismo plano, existen también principios inmutables que al conocimiento impone la propia Naturaleza mediante la organización de nuestro órgano de conocer. Estos son los postulados esenciales de la Ciencia, la razón de la concordancia de sus construcciones con la realidad externa y de sus corolarios con los fenómenos observados. Aquellas otras nociones, sedimento de la civilización en el pensamiento, se manifiestan en la inercia intelectual que cierra el paso a toda concepción nueva.>>

Dos. <<... Por eso los intentos realizados en la época en que la posibilidad de estas diferentes geometrías no euclídeas se reconoció fracasaron, y desprovistos de todo medio de elección segura, nos hemos dejado guiar por la comodidad, admitiendo que la Naturaleza se rige por la Geometría de Euclides. Para el hombre de ciencia consciente, sobre todo en aquella época en que se pensó en la posible resolución experimental del

problema, la hipótesis tiene carácter provisional; para el vulgo, en el cual incluyo a la mayoría de los cultivadores de la ciencia positiva, adquirió la categoría de verdad incuestionable. Pronto veremos que se halla aquí una de las raíces de la incompreensión de la nueva Ciencia de Einstein.>>

Tres. <<Durante más de dos siglos la inteligencia humana ha gravitado alrededor de este astro central [Newton], y hoy, cuando salimos de su esfera de acción arrastrados por otra mente ni más ni menos poderosa que la suya, pero que ha tenido la ventaja de venir después, nos parece más grande porque caemos en la cuenta de que no fue un descubridor sino un inventor: que no encontró sino que creó.>>

Cuatro. <<Esta oposición radical con aquél que decía antes dictado del sentido común, no pasó ignorado por los hombres de ciencia. Pero era la época del desprestigio más absoluto de la Filosofía, y los físicos se hallaban sobrado orgullosos del edificio por ellos levantado, que permitía un dominio casi absoluto de la Naturaleza, para renunciar a él por motivos al parecer tan insignificantes. Fue menester el choque brutal contra la realidad para despertarles de su sueño. Y este choque vino como una consecuencia lógica del interés que tiene conocer nuestro movimiento absoluto en el espacio, la posibilidad de cuya determinación se afirmaba por la ciencia.>>

Cinco. <<Se trataba no menos que de la noción del tiempo, que según dije antes, había entrado en el campo de la ciencia por una simple proyección fuera de nuestra conciencia del sentimiento íntimo que nos permite distinguir el *antes*, del *ahora* y del *después*. Es este modo de construir el tiempo universal lo que resulta demasiado simplista.>>

Seis. <<Pero es que la Ciencia opuesta por Einstein a aquella no tiene semejante pretensión: sus leyes son idénticas a las que formuló mientras la sensibilidad de los medios de observación no rebasen ciertos límites. Es al traspasarlos cuando la ciencia clásica fracasa mientras la Física de Einstein logra mantenerse en contacto con la realidad.>>

Siete. <<Y así podría continuar señalando corolarios que producen extrañeza a mentes educadas por la ciencia anterior a Einstein y que la nueva da como realidades incuestionables, además de acuerdo con la experiencia que repetidamente las ha ido confirmando. Quienes las acojan con incredulidad conviene que sepan que no han sido los primeros en experimentar tal sentimiento. Los miembros de la Sociedad suiza de Física, ante los cuales Einstein dio la primera noticia de su obra y más tarde los lectores de las revistas en que fue publicada, acogieron con escándalo aquella doctrina; escándalo revelado unas veces por el silencio, otras por la refutación, algunas por un cierto despego que ignoraba su importancia real para reducirla a un simple artificio imaginativo. Pero poco a poco fue apagándose la oposición, porque era un simple efecto de la inercia intelectual de que antes hablaba.>>

Y ocho, y final. <<Y ahora quizá preguntéis: ¿hemos llegado al último límite de aproximación a la imagen que la mente puede formar de la Naturaleza? Daríamos prueba de soberbia imperdonable si lo supusiéramos. Pero es que además, apenas consolidada la nueva conquista, cuando aún no se han apagado los fuegos de la oposición que la inercia intelectual ofrece a las nuevas ideas, pueden señalarse importantes generalizaciones de las mismas que nos conducen a una visión acaso más perfecta de la realidad. Me refiero a las concepciones de Weyl y aún de Eddington, cuyo valor comparado con las propias de Einstein se ha de juzgar desde un punto de vista que afecta sólo a la teoría del conocimiento, pues hoy por hoy no pueden hallarse diferencias que sean sometibles a la contrastación experimental. En otro tiempo esta sola circunstancia hubiera bastado para que la discusión se rechazase fuera de los dominios de la Ciencia positiva, pero en el momento actual, en igual proporción que ésta ha mejorado su propia estructuración lógica, ha crecido su respeto por la Filosofía, en aquel capítulo en que ésta estudia el valor de las elaboraciones de nuestra mente.>>

Cuarta. El lector sí habrá deducido que entiendo que este trabajo de Cabrera es importante para conocer y valorar la obra de Einstein y, sobre todo, para conocer la impresión que tiene el físico arrecifeño de la relatividad. Por esto he reproducido tantos párrafos. Reitero: léase y ... reléase el texto de don Blas.

## 7. "MOMENTO ACTUAL DE LA FÍSICA" (1921)

El 13 de noviembre de 1921 lee Blas Cabrera el discurso inaugural del curso 1921-22 de la Academia de Ciencias con el título muy propio suyo -y de la época- "Momento actual de la Física".

Pretendo destacar algunas ideas al hilo de este *Discurso*.

Una. La concepción de la Física en tanto que <<admirable construcción intelectual>> que representa la <<conquista progresiva de la verdad oculta por la Naturaleza y cuyo descubrimiento es el fin último de la Filosofía natural>>.

Dos. El papel importante de la difusión de la cultura científica, de sus aspectos generales, incluso en el seno de la Academia. He aquí una síntesis de su punto de vista: a) es interesante hacer propaganda de la ciencia; b) también lo es despertar el deseo de su estudio; y c) asimismo la creación de un ambiente que haga posible su vida. Con palabras significativas de Cabrera: <<En España quizá sea hoy lo más urgente crear este ambiente para dar mayor impulso al adelantamiento de la ciencia nacional, ya iniciado>> y <<Entiendo que debo apartarme de los temas de interés restringido, siquiera pudieran serme personalmente más gratos, y señalar a la juventud que hace su

preparación para sucedernos los grandes problemas que son como faros que orientan la ruta de los investigadores en el campo de las ciencias físicas>>.

Tres. Su interpretación histórico-filosófica de los temas en auge. Por ejemplo, su punto de vista sobre el problema de la aceptación-rechazo de la relatividad:

<<El pensamiento científico de nuestros días ha roto más de una vez contra esta consagración de los principios, pero ciertamente no lo ha hecho sin despertar la más viva resistencia.

En último término, la bandera de la inmutabilidad de los principios es la que se tremola por quienes luchan contra la teoría relativista, lo mismo en su forma restringida que en la general, a pesar de que mirada desde puntos de vista más fundamentales se ofrece como heredera directa del pensamiento clásico en orden a la construcción de la Ciencia. No se la combate, ni habría posibilidad de hacerlo, apoyándose en que deje inexplicados fenómenos que la Filosofía natural clásica interprete claramente, pues dentro del dominio a que esta última alcanza el acuerdo es perfecto; ni tampoco se puede argumentar con su esterilidad, porque gracias a ella se logra encuadrar en la ordenación lógica de nuestros conocimientos hechos y fenómenos que quedaban antes al margen de la Ciencia. Un somero análisis de las opiniones emitidas por los detractores más autorizados de la teoría revela que la raíz de la oposición está, como decía, en que echa por tierra la inmutabilidad de ciertos principios, en cuanto rechaza la exactitud de leyes que de modo más o menos explícito habían alcanzado aquella categoría. La de Lavoisier referente a la conservación de la masa y la de atracción de Newton son dos ejemplos bien claros de estos principios o cuasiprincipios eliminados por las nuevas concepciones; pero aún, y esto es pecado más serio, también se la rechaza en nombre de determinadas nociones que habían sido elaboradas de modo casi inconsciente, cual la de rigidez de los cuerpos, la de simultaneidad y el carácter euclidiano del espacio.>>

Así, sobre la revolución que se vive en el ámbito de la microfísica escribe:

<<En una palabra; cuando de lo que podemos llamar nuestro mundo, que cabría caracterizar diciendo que es medible por nuestras propias dimensiones, así espaciales como temporales, descendemos al microcosmos que se oculta bajo él, y que en general sólo percibimos a través de un complejo de efectos, la Ciencia necesita una modificación profunda que aún no es posible precisar, no obstante

lo cual puede afirmarse que se ha de apoyar en la modificación de los principios que con pretendida validez universal estableció la ciencia clásica.>>

Cuando reflexiona acerca del modelo de átomo que se está estableciendo utilizando como elementos constructivos el electrón y el protón dice que:

<<... han quedado reducidos a dos cargas eléctricas finitas, negativa la una y positiva la otra, pero equivalentes en valor absoluto, que existen como una unidad a pesar de carecer de soporte material y vulnerar la ley elemental de las repulsiones eléctricas que exige su completa disipación.>>

Y entre los intentos científicos para superar esta dificultad de la teoría de Maxwell-Lorentz, por lo que se refiere al tema de la relatividad, escribe:

<<Otro intento ha sido hecho por Einstein buscando las acciones que impiden la disipación de las cargas en fuerzas de origen gravitatorio: podríamos decir, en atención a las ideas directrices de la teoría de la relatividad, dentro de la cual razona Einstein, que dichas cargas producen en el espacio una curvatura que las obliga a agruparse en porciones iguales a las repetidas unidades. Este pensamiento fundamental es claro, pero las dificultades surgen cuando se quiere concretar buscando las funciones que definen el electrón y el protón. El problema permanece sin resolver también en este caso.>>

Y concluye con una frase de extremo rigor y ciertamente representativa de la visión de la Física de 1921:

<<Con esto resulta bien claramente confirmado que electrón, protón y *quantum*, las últimas realidades en que la naturaleza se descompone, permanecen sumidas en el misterio, no obstante la innegable existencia de estas entidades.>>

---

Antes de pasar al capítulo siguiente, dedicado al año 1923, y a modo de resumen, podemos decir que Einstein con el Premio Nobel y la 'conquista' de los Estados Unidos ha alcanzado su techo social; su tarea primordial consistiría, en todo caso, en explotar el éxito obtenido.

En estos años 1918 a 1922 Blas Cabrera se ha empapado de relatividad.

La teoría de Einstein, las nuevas ideas, la nueva Ciencia es su argumento de presencia pública en diferentes foros. El libro *Principio de relatividad* que comentaremos en el próximo capítulo constituye el cénit de su dedicación y preparación en el tema. Al comienzo del prólogo explica que el contenido del libro recoge las conferencias que ha dictado en los años recientes en el Ateneo de Madrid, la Sociedad Científica Argentina, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Córdoba (República Argentina) y, ya prácticamente elaborado el texto, en la Facultad de Ciencias de Madrid. Blas Cabrera está difundiendo la relatividad en un ambiente de doble signo: unos, con expectación e interés; otros, con espíritu intelectualmente hostil. Ante unos y otros se presenta como *apóstol de la nueva Ciencia*. Pasemos de capítulo.



## **1923: EL LIBRO PRINCIPIO DE RELATIVIDAD Y LA VENIDA DE EINSTEIN A ESPAÑA**

En este capítulo pretendo destacar el año 1923 por su singularidad en el proceso histórico de la ciencia española. Ocupa en éste un lugar preminente sin ningún género de dudas.

El hecho de la venida de Einstein a España se interpreta científica y socialmente como una manifestación pública europea de reconocimiento de que España puede considerarse ya integrada en el occidente científico.

En este marco tienen lugar dos acontecimientos centrales para nuestro tema *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*. En primer lugar, la publicación del libro *Principio de relatividad*. En segundo lugar, los encuentros personales y públicos con Einstein, ya directos y en los que Cabrera desempeña un papel relevante.

### 1. EINSTEIN EN 1923

En este año Einstein está disfrutando de las mieles del éxito científico y de la fama social.

Lo inicia en periplo por el mundo. Japón, Palestina y España. (No está de más recordar que aún no existe aviación comercial y que los medios de transporte son el ferrocarril y el barco). Y lo hace en todas partes en olor de multitudes; 'por todo el mundo' se reclama su presencia.

He escrito que Einstein constituía un mito. Quizás el mayor y más duradero de los mitos humanos del siglo XX. Su nombre y su efigie se hicieron célebres. Científicos, pensadores, filósofos, académicos, ... ; el rey, los políticos, los sindicatos, la prensa, ... todos querían conocerlo y homenajearlo.

### 2. LA FÍSICA ESPAÑOLA ANTE 1923

Dos hechos, de diversa naturaleza, marcan el momento.

Uno. Las consecuencias, de momento sobre todo personales, del descubrimiento ya citado de los *multiplotes* por Miguel A. Catalán, que hace que importantes miradas científicas se dirijan hacia la Península Ibérica quizás por primera vez en el ámbito usualmente considerado como de la

Física.

Dos. La espera de la visita de Einstein, en cuyo marco puede inscribirse el libro *Principio de relatividad* de Cabrera. Desde años antes se han hecho gestiones con el físico alemán para que nos visitara. Su presencia sería considerada como un reconocimiento internacional de que en España ya se hace ciencia al modo europeo. La visita de Einstein fue el episodio crucial que convirtió el prestigio científico en una extendida conciencia popular y de apoyo a la ciencia pura.

Y este momento queda inserto en un contexto temporal que manifiesta un importante cambio cualitativo respecto de épocas anteriores: <<Hacia mediados de los años 1920 la comunidad científica española se había acostumbrado al encuentro relativamente frecuente con científicos extranjeros del calibre más elevado, particularmente alemanes e italianos>> (Glick, 1986, pág. 38). El que los científicos europeos ya en 1921 pasaran por España <<colaborando directamente con los hombres del nuevo renacimiento español>> era un signo de una evidente <<nueva vida científica>>.



Foto n° 6. Einstein en el Laboratorio de Investigaciones Físicas (el laboratorio de Cabrera). En primera fila (de izq. a der.): Alejandro del Campo, Blas Cabrera, Albert Einstein, Julio Palacios y Miguel A. Catalán.

La preparación en idiomas de los científicos españoles había virado del francés (Echegaray, Torres Quevedo) al alemán (Cabrera, Moles, Palacios). Escribe Glick (1986, pág. 30): <<es significativo que Echegaray no participara en las primeras discusiones sobre la relatividad de cuyo significado no era muy consciente porque sólo estaba suscrito a revistas

francesas y estaba escasamente informado de los progresos en otros lugares. Los primeros españoles que discutieron la teoría de Einstein conocían bien el alemán. Esteve Terradas asistió a la escuela elemental en Alemania y su dominio de este idioma era legendario. Cabrera, Rafael Campalans y otros científicos fueron capaces de comunicarse con Einstein en alemán durante su visita>>. Por mi parte debo decir que entre los otros científicos estaba, a la cabeza, Julio Palacios, que hizo en ocasiones de intérprete entre asombrado e incrédulo (también se ha dicho algo análogo, en otros foros, de Ortega).

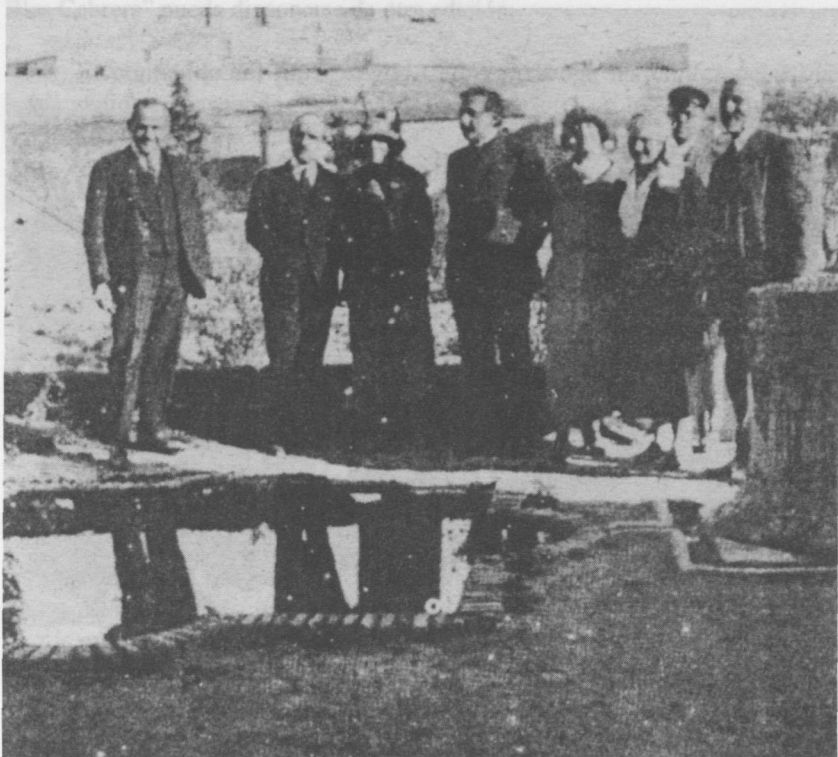


Foto nº 7. Einstein y Ortega en la visita a Toledo.

### 3. BLAS CABRERA EN 1923

Algunas cosas pueden decirse acerca de Cabrera en este año.

En primer lugar, repetir dos ideas: una, la publicación de su libro sobre relatividad; dos, la relevancia de su papel en los actos oficiales de Einstein en Madrid.

En segundo lugar, que esta relevancia ante Einstein se debía a que

Cabrera era “la autoridad” reconocida en lo referente a la obra de Einstein. Antes que él habían conocido la obra del científico alemán Esteve Terradas y José María Plans pero el físico canario se había constituido en 1923 en la figura máxima, en el experto español, y además era físico, mientras que los otros dos podían considerarse, aunque a la vieja usanza ‘pre-Rey Pastor’, más bien matemáticos.

En tercer lugar, destacar que Cabrera, unos meses más tarde, imparte un curso breve en Munich sobre estructura de la materia y sus propiedades magnéticas; en las discusiones participan Sommerfeld, Fajans, Wien y Herzfeld. La reputación internacional de Cabrera ha ascendido rápidamente.



*Foto n° 8. Einstein en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid. Sentados (de izq. a der): M. Vegas, J. Rodríguez Carracido (Rector), A. Einstein, L. Octavio de Toledo (Decano) y B. Cabrera.*

*De pie (de izq. a der.): E. Lozano Rey, J.M. Plans, M. Moreno, E. Lozano Ponce de León, I. González Martí, J. Palacios, A. del Campo y H. Castro.*

*Foto n° 9. Einstein en el Laboratorio de Investigaciones Físicas (el laboratorio de Cabrera). En primera fila (de izq. a der.): Alejandro del*

#### 4. ACERCA DEL LIBRO PRINCIPIO DE RELATIVIDAD

En el ambiente de espera del sabio alemán fecha Cabrera su libro *Principio de relatividad* en enero de 1923. No está claro, al menos yo no lo sé, si vio la luz antes o después de la venida de Einstein a España; sí absolutamente claro que significa, de hecho, lo último -y lo mejor- que

Cabrera publica sobre la relatividad propia y monográficamente<sup>17</sup>. Libro culminación del quehacer de Cabrera en torno a la relatividad. En el acto de recepción de Einstein como académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias de Madrid habla ya, sobre todo, acerca de la “Obra de Einstein fuera de la Relatividad”, tema que utilizaré como título del próximo capítulo.

*Principio de relatividad* es, pues, punto de llegada. Buen libro de texto para explicar el qué de la relatividad en su concepción y en su historia. Por fortuna Sánchez Ron (1986) ha preparado una edición disponible del mismo y, es de esperar, que en el conjunto de las *Obras completas comentadas* previstas durante esta “Commemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera” pueda disponerse de otra edición.

El contenido del libro, según Cabrera, recoge las conferencias que había venido impartiendo durante los años anteriores en los foros que ya he indicado en el capítulo anterior.

La finalidad que ha perseguido en las conferencias, cursos y con el propio libro, que explícita reiteradamente en el prólogo (véase Anexo III) puede considerarse como *apostólica*. Leamos al físico español:

<<Perseguí en todas ellas probar que no existe nada en las Ciencias positivas que esté en oposición con el principio de relatividad, tanto en su forma restringida como en la general; y bastante que obliga a convertirle en postulado necesario de la Filosofía natural>>.

<<Vuelvo a repetir que la finalidad que he perseguido, tanto en las conferencias y cursos arriba recordados como en la publicación de este libro es llevar al ánimo de mis oyentes y lectores la convicción de que las alteraciones impuestas por el principio de relatividad en los conceptos fundamentales de la Filosofía natural están impuestas por la observación y la experiencia, y vienen a depurar nuestro conocimiento positivo de ciertos postulados que subrepticamente se introdujeron en él>>.

<<Repito que no ha sido mi objeto una exposición didáctica, sino inspirar la fe en las nuevas ideas y despertar el deseo de su más perfecto conocimiento, para el cual se dispone hoy de una excelente literatura, ...>>.

Para Cabrera, la relatividad ha creado una nueva Ciencia que introduce novedosas ideas. Así:

1. El principio de relatividad, tanto en su forma restringida como en la general, es postulado necesario de la Filosofía natural.
2. La base de toda la argumentación es la repugnancia hacia las

<sup>17</sup> Más adelante veremos que tanto en la Universidad Internacional de Verano de Santander como en el exilio dedica una cierta atención al tema pero no publica sus escritos.

acciones a distancia.

3. <<Ha sido necesario el cruento sacrificio de ideas que se estimaban verdades axiomáticas; pero un análisis minucioso de cada una de ellas, lleva al ánimo el convencimiento de que se trata de construcciones gratuitas de nuestra mente por extrapolación indebida de ciertos resultados experimentales>>.

Su explicación de la resistencia a la aceptación de la nueva Ciencia aunque reiterativa es sumamente interesante (recuérdese que tiene a un tan respetuoso como silencioso Palacios junto a él). La impresión de Cabrera puede resumirse en los siguientes párrafos.

Uno. <<... la Ciencia del principio generalizado en que hoy se concentra toda la oposición, pues el restringido que halló al nacer análogas dificultades, ha tiempo que ha conquistado el asentimiento general>>.

Dos. Abundan los casos de resistencia o, si se quiere, <<la firmeza de aquellas ideas es bastante para nublar el referido análisis>>.

Tres. <<El origen del recelo que todos hemos sentido al primer contacto con la Ciencia que este principio ha creado, y que algunos conservan a pesar de los esfuerzos dedicados por muchos hombres de ciencia a combatir tal estado de espíritu, estriba en confundir con imposiciones de la razón, o también con verdades adquiridas por la observación y la experiencia, nociones elaboradas por nuestra mente partiendo de postulados que las más de las veces han penetrado subrepticamente en la ciencia>>.

Cuatro. <<No es nuevo el hecho, siquiera nunca haya sido de resonancia comparable. Los primeros pasos de toda nueva teoría provocan siempre resistencia equivalente de parte de quienes han formado su espíritu bajo la tutela de las ideas que se pretende derrocar. Es el resultado de una ley general del conocimiento que bien puede llamarse de *inercia intelectual*, pues expresa la tendencia a conservar el sentido de su evolución, a la manera como la inercia de la materia se manifiesta por la persistencia en la dirección y celeridad del movimiento de los cuerpos>>.

El proceso que debe seguirse para la elección de una teoría lo explica de la manera siguiente. El *experimentum crucis* para decidir entre teorías diferentes lo constituyen los hechos que son compatibles con una sí y con otra no; y así son los propios hechos los que resuelven la cuestión. Bajo esta perspectiva hace dos consideraciones de diversa naturaleza.

En primer lugar, las tres consecuencias comprobables experimentalmente que Einstein dedujo de su teoría: 1) el movimiento del perihelio de la órbita de Mercurio; 2) la desviación de la luz en su paso por las proximidades del Sol; y 3) el corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales que proceden de los cuerpos incandescentes situados en campos gravitatorios más intensos que el de la superficie de nuestro planeta.

Y, en segundo lugar, que la nueva teoría dé cuenta de todos los hechos explicados por la teoría precedente, que constituye un límite de la nueva.

En resumen:

<<Sólo he querido afirmar que lo más esencial de ella [de la teoría de la relatividad] se encuentra suficientemente consolidado por la lógica acabada de su construcción y porque ha permitido la interpretación de varios hechos de experiencia que escapaban a las teorías clásicas, sin perder una sola de las conquistas que ellas lograron>>.

El proceso de evolución es, para Cabrera, absolutamente claro. Comentando las observaciones de eclipses dice:

<<Es innegable la posibilidad de que el éxito sea de tal modo claro, que contribuya a disminuir la resistencia de ciertos espíritus; pero lo más probable es que la opinión científica continúe su evolución lenta en el sentido de las nuevas ideas>>.

Para el físico canario, su modo de exposición <<no es el de un libro didáctico, pues ha debido sacrificar el detalle del razonamiento a la rápida visión de las dificultades de la Ciencia clásica y su fácil eliminación por las nuevas ideas>>. Según mi opinión, sí es un libro muy didáctico, y un buen libro de relatividad, un magnífico texto de relatividad. Como he dicho, Sánchez Ron hizo en 1986 la presentación de una reciente reedición; el juicio inicial del historiador de la ciencia sobre el libro de Cabrera es, a mi modo de ver, certero: <<... es perfectamente actual. No ha perdido, al igual que las teorías a las que está dedicado, casi nada de su vigencia>>, y, por otra parte, <<es una de las mejores y más completas presentaciones de carácter general existentes en el campo de la relatividad. Predominando, eso sí, el enfoque físico sobre el matemático, tal y como correspondía a su autor, un físico fundamentalmente experimental>><sup>18</sup>.

Concluamos este párrafo con Cabrera:

<sup>18</sup> En este sentido, no obstante, conviene no confundirse. En tanto que aportador, en su caso, de novedades físicas de importancia ¡qué duda cabe de que fueron experimentales! Deseo con este ensayo, también, elevar -¡sí!, elevar- a Blas Cabrera a la dignidad de pensador, de conocedor de la historia, de su capacidad para la intelección filosófica y el discurso en filosofía de la ciencia. Su figura de 'científico culto' y de 'hombre público manifestador de su sabiduría' supera con creces, y desde muy diversas perspectivas, a la de 'físico experimental' que en demasiadas ocasiones, y con el carácter usual que en el mundo científico se le da a esta expresión, pretende establecerse para él. Clara y decididamente fue otra cosa que 'físico experimental', jugó otro papel primordial, y además, ... hay que reconocerlo porque fue así, tuvo éxitos notables con un programa de investigación experimental -en magnetismo de la materia- que le duró prácticamente toda la vida activa. Otra cosa es que su paso decisivo a la intrahistoria de la Física se deba a sus trabajos experimentales.

<<... si de momento [la teoría de la relatividad] parece de escasa trascendencia para la Ciencia que más directamente procura la resolución de los problemas concernientes a nuestra vida material, la tiene incalculable para la Filosofía natural, puesto que supone una revolución profunda de nuestra concepción del Universo>>.

## 5. EL “DISCURSO” DE CABRERA EN LA ACADEMIA: EL EINSTEIN FUERA DE LA RELATIVIDAD

En el Anexo III se reproducen los *Discursos* “pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. El Rey el día 4 de marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma de académico corresponsal al profesor Alberto Einstein”. El lector puede deleitarse -quizá, por algo, indignarse- de manera personal e independiente, leyendo los discursos del acto académico. No obstante, unas consideraciones complementarias pueden resultar de interés.

Cabrera aprovecha la ocasión, en su justa asunción de la condición de padre de la Física española que ejerce, dirigiendo sus últimas palabras a Einstein <<en nombre de los estudiosos españoles>>, en el primer párrafo, y afirmando <<en nombre de las generaciones presentes y de un futuro inmediato>>. Con suma delicadeza patria reconoce, en torno a la ‘polémica de la ciencia española’, que “nuestra aportación a la Ciencia sea hasta hoy desproporcionada [por su escasez]”, que ya <<es hora, después del largo reposo que nos hemos tomado>> de que <<reconocemos nuestra deuda para con la Humanidad y nuestro anhelo es llegar pronto a saldarla>>. Finalmente, concluye: <<Espero que al final de nuestra vida, que será también el de mi generación, la España científica, que hoy apenas encontráis en embrión, haya llegado al lugar que tiene el inexcusable deber de ocupar. Así al menos pensamos aquellos para quienes el optimismo es una virtud motora del progreso>>. Cabrera era ciertamente un motor en la construcción de una España científicamente nueva.

El brevísimo discurso de Einstein concluye en línea de perfección lógica y de acuerdo básico con el planteamiento de Cabrera: <<reflejo de vuestra esperanza optimista sobre el desarrollo científico de España>>. Einstein ha captado que se encuentra en una nueva España: <<Los tiempos de participación activa en el progreso mundial del entendimiento están ligados a condiciones exteriores que ya se han realizado en vuestro país>>, y sintoniza con Cabrera desde la realidad de la que cataloga como <<mortificada y amenazada>> Europa que <<puede volver los ojos llena de esperanza hacia este pueblo, que se encamina al trabajo científico después de haber producido para la Humanidad cosas tan grandes en la esfera del Arte.>>



MADRID DIA 6 DE  
MARZO DE 1923  
NUMERO SUELTO  
10 CENTS. 地地地

# ABC

DIARIO ILUSTRADO.  
AÑO DECIMO-  
NOVENO. N.º 6.292  
10 CENTS. 地地地

MADRID: UN MES, 3 PESETAS, PROVINCIAS: TRES MESES, 9. EXTRANJERO, SEIS MESES, 38 PESETAS  
REDACCIÓN Y ADMINISTRACIÓN: SERRANO, 58, MADRID, APARTADO NUM. 43



MADRID. EN LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

S. M. EL REY (1), CON EL PROFESOR EINSTEIN (2), EL MINISTRO DE INSTRUCCION PÚBLICA (3), EL EMBAJADOR DE ALEMANIA (4)  
OTRAS DISTINGUIDAS PERSONAS, DESPUES DE LA SOLEMNE RECEPCION DEL DOMINGO ULTIMO. (FOTO DUQUE)

Por lo que respecta a la Física española este breve período es de un  
espíen. Foto nº 9. Portada del diario ABC del día 6 de marzo de 1923. paciones  
sintéticas.

Finalmente toma la palabra el ministro de Instrucción Pública, Joaquín Salvatella. De su breve discurso destaco: a) una cariñosa reprimenda a Cabrera ya que <<en la última parte de su discurso aparece demasiado modesto al referirse a la Ciencia española>>; y b) la generosa y generalizada oferta que hace al profesor Einstein que <<por voluntad del Soberano y del

Gobierno de España ésta está dispuesta (...) a ayudar en sus investigaciones a los sabios alemanes cuya labor está dificultada actualmente por el estado económico que atraviesa su patria>>. Estas palabras no causan risas ... ya que producen pena, desde perspectivas diversas y complementarias. Bástenos recordar que el reconocido Miguel A. Catalán, visitado por Sommerfeld, fue a Alemania con una pensión de la Fundación Rockefeller y que ésta concedió a España el edificio y equipamiento de lo que sería el Instituto Nacional de Física y Química ('edificio Rockefeller').

---

A modo de resumen de este capítulo puede decirse que desde el punto de vista de esta historia de *Blas Carrera ante Einstein y la relatividad* interesa destacar que con la publicación del *Principio de relatividad* llega al cénit la dedicación del físico canario a la teoría einsteiniana por antonomasia y que con el discurso ante Einstein en la Academia inicia, por así decirlo, la etapa de glosa de la actividad del físico alemán "fuera de la relatividad" (que trataré en el próximo capítulo). Más adelante retomará el tema en el ámbito de la Cosmología (que trataré en el siguiente).

## LA OBRA DE EINSTEIN FUERA DE LA RELATIVIDAD (1923-1928)

En este capítulo pretendo una aproximación al período comprendido desde el refrendo que supuso para la Física española la venida de Einstein hasta el momento que puede considerarse como más importante de la vida de Cabrera, que denominó su hijo Nicolás con el título de su “Consagración internacional”, en 1928.

### 1. EL MITO EINSTEIN

Pocas novedades de importancia intrafísica presenta el quehacer de Einstein en estos años. No obstante diremos algo.

La relatividad sigue difundándose y aceptándose, al mismo tiempo que adquieren mayor relevancia aquellos que, “por inercia intelectual” decía Cabrera, se oponen a ella. Los físicos más importantes del siglo bien aceptan bien callan; todos reconocen la portentosa creación intelectual de Einstein.

Desde su papel de hombre símbolo de la primera mitad de este siglo, que se implica en los grandes problemas político-sociales de la humanidad, destaca su firma en 1925 de un manifiesto contra la obligatoriedad del servicio militar.

En esta época dedica cierta atención a los temas de la ‘nueva física’ - cuántica- y está atento a los descubrimientos cosmológicos, al mismo tiempo que trabaja infructuosamente en la búsqueda de la *teoría unificada de campos*.

### 2. LA FUNDACIÓN ROCKEFELLER Y LA ‘GENERACIÓN DEL 27’ DE FÍSICOS ESPAÑOLES

Por lo que respecta a la Física española este breve período es de un esplendor inusitado. Haré una selección de acontecimientos con descripciones sintéticas.

Henrick Lorentz visita España en 1925. Cabrera es su introductor-presentador. Lo hace destacando los siguientes aspectos: a) <<creador de la ‘teoría de los electrones’>>; b) <<principal precursor de Einstein>>; y c) recordando que Einstein había llamado a Lorentz el ‘padre de los físicos’.

Lorentz dio dos conferencias: una, sobre la teoría del magnetismo; y otra, sobre la teoría de la estructura del átomo de Bohr. Se le concedió la medalla Echegaray. José María Plans aludió al papel fundamental de Lorentz en los orígenes de las teorías de Einstein, destacando su 'transformación' de las ecuaciones electromagnéticas y su noción del 'tiempo local'.

Cabrera genera con la colaboración de Palacios y de Duperier unos trabajos de sumo interés en magnetismo que tendrán especial resonancia.

Catalán, con una pensión de la Fundación Rockefeller, visita Munich para trabajar con Arnold Sommerfeld.

Y esta Fundación Rockefeller, norteamericana, inicia conversaciones con el gobierno español, la Junta para Ampliación de Estudios, con objeto de dotar al equipo de físicos y químicos que dirige Cabrera de un Centro en el que puedan desarrollar el trabajo para el que se encuentran preparados y que esté dotado a la altura de los mejores de Europa. Estas gestiones ponen de manifiesto el elevado nivel alcanzado por los físicos españoles, en el terreno experimental; quiero decir, obviamente, por este puñado de físicos y químicos españoles.

En otras ocasiones he denominado 'generación del 27' de físicos españoles a la representada por Palacios (1891), Catalán (1894) y Duperier (1896), que, a la luz de la consideración de los períodos de quince años que establece sociológicamente Ortega, constituyen la generación siguiente a la de Cabrera (1878) y el propio Ortega.

### 3. CABRERA EN CAMINO DE RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL

He citado el breve curso dictado por Cabrera en Munich en 1923.

En el verano de 1925 dictó otro curso de magnetismo y estructura del átomo en la Société de Physique de París. Después, cuando estaba en Bruselas como delegado español en el congreso del International Research Council, en octubre, fue invitado a Berlín para hablar de Magnetoquímica.

En 1926 viajó a México con Fernando de los Ríos, integrando una embajada cultural, en consonancia con el papel relevante que juegan en el mundo la Física y los físicos.

Durante estos años puede decirse que está consagrado a sus investigaciones atómicas. En 1927 publica el libro *El átomo y sus propiedades electromagnéticas*.

1928 es el año de su 'consagración internacional'. En primer lugar, es elegido académico correspondiente de la Academia de Ciencias de París; y, en segundo lugar, es elegido miembro del Comité Científico de las Conferencias Solvay considerado por su hijo Nicolás como el nombramiento más trascendental de la vida de su padre.

## 4. "PROCESO DE EXTENSIÓN DEL CONOCIMIENTO" (1927)

Blas Cabrera salta del ámbito estricto de la Ciencia al más amplio de la Cultura (en el que se integra de manera primordial en el siglo XX lo que suele denominarse como 'cultura científica'). Una de las manifestaciones más claras es su participación en las tertulias de la Revista de Occidente y sus colaboraciones escritas en ella, así como su amistad creciente con Ortega.

El "Proceso de extensión del conocimiento" (1927) es su primera contribución a la *Revista de Occidente* y se acompaña como Anexo IV. Dejamos para el lector la tarea del juicio personal y libre de su contenido. Bástame señalar como un nuevo *signo* de la salida de Cabrera del ámbito estricto de la ciencia experimental hacia el papel cultural que desempeña la Física en el mundo intelectual y que en correspondencia con la corriente universal va a desempeñar en España. El papel socialmente más relevante correspondería a Cabrera: Rector de la Universidad Central, Rector de la Universidad Internacional de Verano de Santander, Académico de la Española, etc.

Este artículo es una joya de la literatura científica y del dominio de la actualidad por Blas Cabrera. Constituye un magnífico trabajo de difusión cultural científica sobre las innovaciones que están teniendo lugar en la microfísica: a) la *mecánica cuantista* de Heisenberg, Born y Jordan que califica de "solución agnóstica" <<porque su punto de partida es negar la posibilidad de conocer la intimidad del átomo, en atención a que sus detalles escapan y escapan a la observación>> e impresiona su párrafo final, sobre todo ante las creencias (confusiones) de tantos físicos, de entonces como de ahora, acerca de la 'verdad' que encierran los algoritmos utilizados en la mecánica cuántica, <<la negación de todo saber referente a lo que el átomo es, no arrastra ni arrastrará nunca la convicción de los físicos>>; y b) la *mecánica ondulatoria* de De Broglie y Schrödinger con respecto a lo que se pregunta: <<¿qué son estas ondas a que Schrödinger reduce toda la materia? ... una función cuyo sentido físico ignoramos>>.

En la segunda parte se refiere a lo infinitamente grande y puede decirse que comienza sus referencias, dedicación científico-cultural, a lo que aún llama prioritariamente Astronomía pero que llamará más adelante Cosmogonía y finalmente -en la Universidad Internacional de Verano de Santander- de manera precisa Cosmología, ámbito en el que también deja ver una buena puesta al día.

En el apartado XIII, por lo que respecta a nuestro tema, es claro:

<<Es típica la importancia que adquiere la relatividad, en su forma general. Todos los fenómenos que se señalan como argumentos en favor de la teoría proceden de la Astronomía. Lo mismo la precesión de las órbitas que la desviación de la luz que el corrimiento de las líneas espectrales, no podrían observarse sin salir de

las posibilidades terrestres>>.

¡Bueno! léase íntegro el trabajo de don Blas, pero con especial detalle los apartados XIII y XIV en los que se verán interesantes reflexiones acerca de la Cosmología, del espacio y del tiempo ... y que cita a Hubble ... lo que no debía ser muy frecuente en 1927.

Relatividad y Astronomía están correlacionándose: la Cosmología relativista es un tema de primordial importancia en estos años.

## 5. “LA OBRA DE EINSTEIN FUERA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD” (1928)

En el Anexo V se reproduce el artículo que publicó Cabrera en la *Revista Matemática Hispano-Americana* en 1928, el año en que alcanzó la cima de su trayectoria, como he recordado, con la elección como académico correspondiente de la de Ciencias de París y con su inclusión en el Comité Científico de las Conferencias Solvay, donde coincidiría con Einstein en las reuniones de Bruselas.

A partir de este momento compartirán el honor de reunirse al más alto nivel científico mundial, serán compañeros de trabajo. Su candidatura para las Conferencias Solvay había sido promovida precisamente por Albert Einstein y Marie Curie.

Este trabajo, como también puede comprobar el lector, es complementario, o una extensión si se quiere, del “Discurso” de la Academia de 1923.

Así comienza, justificando las razón del texto, su artículo:

<<La teoría de la Relatividad, que ha popularizado el nombre de Einstein, no es su única contribución al progreso de la Física actual. Su genio se ha señalado en los problemas que más preocupan hoy a los investigadores, abriendo nuevas vías a la Ciencia que frecuentemente muestran las características de la intuición>>.

Y hace, según él, un análisis rápido de la *obra no relativista de Einstein*, análisis que entre cronológico y lógico resume en los siguientes puntos:

1. En el ámbito de la *teoría molecular de la materia* (de la que Cabrera es uno de los máximos expertos, y con textos que reitera con profusión a lo largo de su extensa obra), en la concepción histórica que denomina de la ‘divisibilidad limitada’ reconoce que se deben a Einstein: a) un método estadístico para relacionar los valores macroscópicos de los parámetros que caracterizan a un cuerpo con la distribución de variables propias de las

moléculas [Estadística de Bose-Einstein]<sup>19</sup>; y b) la iniciación del estudio de las fluctuaciones (en abierta contradicción con la Termodinámica) en el caso más interesante: el movimiento browniano, introduciendo para éste el concepto de actividad.

2. La *hipótesis de los cuantos de luz* [o de la discontinuidad de la luz], con sentido de 'realidad' física, que se refieren siempre a fenómenos de absorción o emisión --<<que pueden considerarse como pruebas empíricas de la teoría cuantista>>- de la que se deducen como <<verdaderos teoremas>> unos corolarios interesantes: a) la explicación de la ley de Stokes de la fluorescencia; b) la ley que expresa la relación entre la energía de los fotoelectrones y la frecuencia de la luz excitante; c) ley análoga para el fenómeno inverso de corriente de electrones excitadora y generación de rayos X; y d) la interpretación del fenómeno de la pequeña fracción de un gas que se ioniza al paso de una onda corta.

3. La *teoría de los calores específicos* aplicando la hipótesis de los cuantos a los cambios de energía en los encuentros de las moléculas.

4. La *ley fotoeléctrica* que <<ha pasado a ser la base más firme de la teoría general de los cuantos>> y que debe considerarse <<como el origen lógico de uno de los postulados de Bohr para edificar su teoría de los espectros>>.

La idea -primer postulado, hipótesis- de que las moléculas materiales pueden adoptar, independientemente de su constitución, una serie de configuraciones estacionarias caracterizadas por un valor de su energía y que las transformaciones tienen lugar de una configuración a otra <<es una de las más brillantes de Einstein a la Ciencia física de nuestros días>>.

---

Hemos llegado a las puertas de 1928. El centro de interés no lo constituye ya la relatividad sino la 'nueva' mecánica cuántica. El mundo físico gira ahora en torno a las nuevas ideas que encarnan, sobre todo, Heisenberg, Schrödinger y Dirac, respectivamente.

Einstein está, permanece, en la cúspide.

Blas Cabrera ha alcanzado una reputación internacional destacada como físico experimental que además es un hombre público de relieve. Y ha sido galardonado con las distinciones de Académico correspondiente de Ciencias de París y de miembro del Comité Científico de las Conferencias Solvay.

---

<sup>19</sup> He denominado, desde la perspectiva de la *Teoría Dimensional* (González de Posada, 1994c), *teoría de tránsito* a este tipo de teorías físicas.

## EN TORNO A LA COSMOLOGÍA (1929-1936)

En este capítulo pretendo analizar el período de la vida de Blas Cabrera que hemos quedado en denominar de su “Consagración internacional” que se inicia, como hemos visto en el capítulo anterior, con sus nombramientos internacionales y concluye con el inicio de la denominada ‘guerra civil española’, catástrofe humana en tantos sentidos y entre ellos en el del devenir de la Física en España y en concreto en la vida de Cabrera.

### 1. EINSTEIN: DE ALEMANIA A LOS ESTADOS UNIDOS

Por lo que respecta a Einstein, poco de interés primordial en la intrafísica.

Su fama sigue creciendo.

Su condición de judío dificulta progresivamente su vida en Alemania.

En 1930 realiza su segundo viaje a los Estados Unidos y firma un manifiesto en solicitud del desarme mundial.

En 1932 realiza su tercer viaje a los Estados Unidos, donde es nombrado profesor en la Universidad de Princeton.

En 1933, al poco de subir los nazis al poder en Alemania, confiscan sus propiedades. Adquiere compromisos en Princeton y en Oxford desde su residencia en Bélgica.

En 1936 muere su segunda esposa, Elsa Einstein.

Por lo que respecta a la relatividad, los descubrimientos relativos a lo que se considera como “expansión del Universo” ponen en cuestión algunas de sus ideas. En concreto reconocerá como el ‘mayor error de su vida’ la introducción de la ‘constante cosmológica’ en las ecuaciones con la que pretendió precisamente que el Universo fuera de ‘tamaño constante’ o, si se quiere con otras palabras, en sí mismo estático.

### 2. EL MOMENTO CUMBRE DE LA FÍSICA ESPAÑOLA

El reconocimiento internacional de Cabrera lo ha sido, por una parte ¡qué duda cabe! personal, pero, por otra, ¡qué duda cabe también!, porque ha cambiado cualitativamente la situación de la Física en España. Ahora ‘se hace’ física -aunque sea muy poca, en muy pocos lugares y por muy pocos



físicos- y no sólo 'se habla de' física. Señalemos algunos acontecimientos de muy diversa naturaleza pero que hablan por sí mismos.

En 1932 se inaugura el 'edificio Rockefeller', sede del Instituto Nacional de Física y Química, del que es director Cabrera, y que se presenta como continuador del Laboratorio de Investigaciones Físicas. Son numerosos los físicos europeos de primera línea que visitan el Instituto.

En 1933, el gobierno español, en un plazo que sorprende por su cortedad, crea una 'cátedra extraordinaria' para Einstein con la intención de que eligiera España como residencia si no permanente al menos sí parcial. La extensa documentación utilizada por Sánchez Ron (1983) y Glick (1986) pone de manifiesto que no sólo tuvo en consideración la oferta española sino que incluso llegó a aceptarla en un principio. Reconvertida más tarde en un 'Instituto Einstein' que él presidiría, tampoco cuajó.

En 1935 se envía una embajada cultural a Filipinas con objeto de fomentar y recuperar en la medida de lo posible la españolía de aquellas islas lejanas. Allí van el poeta Gerardo Diego y el físico Julio Palacios.

### 3. CABRERA: EL DISFRUTE DE SU CONSAGRACIÓN INTERNACIONAL

Para situar al Cabrera de estos años en la sociedad científica e intelectual española basta recordar, con meros enunciados, unos pocos hitos de su vida.

Uno. Participación en el Comité Científico de las Conferencias Solvay.

Dos. Rector de la Universidad Central. Miembro de la Junta Constructora de la Ciudad Universitaria de Madrid.

Tres. Director del Instituto Nacional de Física y Química ('edificio Rockefeller').

Cuatro. Rector de la Universidad Internacional de Verano de Santander (1934-1936).

Cinco. Miembro de la Academia Española (1936).

Con un poco más de detalle diré algunas otras cosas. El año 1928, con su elección para el Comité Científico de las Conferencias Solvay, candidatura propuesta por Marie Curie y Albert Einstein, cambia el panorama de la Física española de tal manera que, de la mano de Cabrera, entra en Europa (es decir, en el mundo de la ciencia de la época). Parece que el acontecimiento podría significar un momento de no retorno, pero tampoco fue así (sobrevendría la guerra civil). Este nombramiento había sido precedido por el de Académico Correspondiente de Ciencias de París, cuya candidatura había sido propuesta por Paul Langevin y Maurice de Broglie, tras una votación en la que obtiene 42 votos a favor frente a 2 de Niels Bohr, 2 de C. Gutton y 1 de H. Buisson<sup>20</sup>.

Comienzan para Cabrera los honores y los cargos: Rector de la

<sup>20</sup> Puede verse en *C. R. Séances Acad. Scienc.*, págs. 868 y 968, 1928.

Universidad Central, Presidente de la Academia de Ciencias, Rector de la Universidad de Verano de Santander, Académico de la Española, etc.; y en el extranjero: además de los expresamente caracterizadores del cambio de etapa anteriormente recordados el de Secretario del Comité Internacional de Pesas y Medidas. En resumen, una espléndida vida social que brota especialmente en el Palacio de la Magdalena de Santander durante los veranos.

¡Bien! pero, en tanto que físico ¿qué?. En esta tercera etapa sigue haciendo física experimental y dirige un centro de investigación de mayor envergadura. Las notas caracterizadoras de este período blascabreriano podrían ser las siguientes.

1. *Presencia pública entre los físicos consagrados: las Conferencias Solvay.* La sesión de 1930 se dedica al Magnetismo. Su participación científica activa en la sesión se tituló “L'étude expérimentale du paramagnétisme. Le magnéton” que puede considerarse como una de sus principales aportaciones de conjunto.<sup>21</sup>

2. *Director del Instituto Nacional de Física y Química.* Es decir, director de un auténtico Laboratorio de Investigación en Física y Química. Es un centro experimental. Tiene conciencia de la falta de física teórica tan en boga en las décadas de los años 20 y 30. Aquí cobra especial relevancia su amistad con Edwin Schrödinger y las relaciones entre ambos con la intención de saldar ese déficit. Continúa asumiendo la responsabilidad científica sobre un extenso colectivo, a la cabeza de la ciencia española. En esta época trabaja con él una nueva generación de físicos y químicos, la que denominamos de sus nietos científicos: Velayos, Nicolás Cabrera, Espurz, Fahlenbrach.

3. Continúa su labor de *investigador experimental en la especialidad de magnetismo.*

4. Una novedad que caracteriza también este período es la de sus *trabajos con Fahlenbrach.* Éste significa y representa el hecho novedoso de un doctor extranjero que viene a trabajar con él, a la luz de su creciente prestigio. Complementariamente su presencia en el extranjero se ve fortalecida. Inicia publicaciones en alemán. También puede destacarse su contribución importante en francés así como su primer trabajo en inglés.

5. Una mayor intensidad de dedicación teórica a la Física atómica y a la Mecánica cuántica, temas de frontera en esa época e íntimamente relacionados con sus trabajos experimentales en magnetismo y con las perspectivas que ofrecen las Conferencias Solvay.

<sup>21</sup> El libro como tal no existe, ha quedado como trabajo editado en francés. Constituye uno de nuestros deseos su traducción al castellano y edición bilingüe como libro. En esta tarea está la profesora María Dolores Redondo Alvarado.



Foto nº 10. Sexta Conferencia Solvay, Bruselas, 1930.

(1) Marie Curie, (2) Pierre Langevin, (3) Albert Einstein y (4) Blas Cabrera.



Foto nº 11. Séptima Conferencia Solvay, Bruselas, 1933.

Blas Cabrera, de pie, en el ángulo central.

6. Su presencia en el famoso libro de Van Vleck *Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*, editado en Oxford en 1932, en el que el nombre de Cabrera es el más citado de todos los experimentadores. Con motivo de los actos del Centenario del nacimiento de Blas Cabrera (1978) Van Vleck, recientemente galardonado con el premio Nobel (1977), comenzaba su contribución escrita con las palabras que desde entonces constituyen, como parece lógico, frontispicio de presentación del científico canario:

<<In the history of paramagnetism, B. Cabrera will be remembered as the physicist who did the right experiments at the right time. By the right time, I mean the year 1925 which marked the climax of the empiricism of the old quantum theory, and the crucial ensuing early years of the true quantum mechanics ...>>

Parece ser que Cabrera consideró las referencias de Van Vleck en su libro como su mayor reconocimiento. Las palabras anteriores no las conoció.

#### 4. “LOS MUNDOS HABITABLES” (1930)

En el tema de Einstein y la relatividad las razones de actualidad en este momento de 1930, para un converso relativista, están propiamente en la Cosmología como sustantividad en cuyo marco la relatividad es adjetividad.

En el capítulo anterior -y sobre todo leyendo la segunda parte del Anexo IV- hemos visto su magnífica descripción del proceso de extensión del conocimiento por lo que respecta al ámbito de lo infinitamente grande, inicio de su atención específica a la Cosmología que propiamente no había ocupado lugar -aunque implícitamente sí ¡cómo no!- en su buen libro *Principio de relatividad*.

“Los mundos habitables” es científicamente intrascendente y culturalmente responde a una preocupación coyuntural. Interesante por sus referencias a la Cosmogonía y a las condiciones necesarias para que surja y se desarrolle la vida, así como testimonio de sus crecientes preocupaciones cosmológicas.

#### 5. “LA IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO SEGÚN LA RELATIVIDAD” (1931)

He dicho que este período de Cabrera, 1929-1936, es, culturalmente hablando, cosmológico relativista. El es einsteiniano relativista y se preocupa por la Cosmología como tantos físicos, filósofos y personas de la cultura.

El título del trabajo de este párrafo es harto significativo, y puede

leerse (Anexo VII) con disfrute para el lector.

Con respecto al trabajo diré simplemente, que utiliza el término Cosmología, más apropiado y ya establecido, y no el de Astrofísica ni el de Cosmogonía.

## 6. CURSOS EN LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE VERANO DE SANTANDER (1933-36)

En la Universidad Internacional de Verano de Santander dictó los siguientes cursos y conferencias que ponen de manifiesto sus intereses e intenciones cultural-científicas en este período.

Curso de 1933, bajo el rectorado de Ramón Menéndez Pidal. Blas Cabrera no integraba el Patronato de la Universidad Internacional ni tampoco formó parte del Comité de Estudios que determinó el plan de trabajo.

El curso universitario de Filosofía de título "Estado actual del problema de las categorías filosóficas" se organizó, de acuerdo con el siguiente programa (y no creo necesario hacer ningún otro comentario sobre el relevante papel que asignan a Cabrera los filósofos Xavier Zubiri y Manuel García Morente): "Estado actual del problema de las categorías" (Zubiri, 6 conferencias); "Las categorías matemáticas" (Zubiri, 3 conferencias; Cabrera, 3 conferencias); "Las categorías psicológicas" (García Morente, 6 conferencias); y "Las categorías históricas" (García Morente, 6 conferencias).

El curso universitario sobre Física de título "La materia y las radiaciones" se organizó con participación tripartita de Blas Cabrera, Miguel A. Catalán y Julio Palacios, con cuatro conferencias cada uno.

Curso de 1934, bajo el rectorado de Blas Cabrera Felipe que también formó parte del Comité de Estudios.

El curso universitario fundamental se tituló "Las bases de la nueva ciencia físico-matemática" en el que se integraron diferentes ciclos monográficos, tales como: "Introducción a la mecánica ondulatoria" (Palacios, 6 conferencias), "La nueva mecánica ondulatoria" (E. Schrödinger, Dublín, 6 conferencias), "Introducción a la relatividad" (Cabrera, 6 conferencias); "Investigaciones sobre el cálculo de probabilidades" (Fréchet, París, 6 conferencias), "Principio ergódico" (Terradas, 6 conferencias), "La ciencia química" en tres ciclos: a) "Sistema periódico" (Moles, 3 conferencias), b) "Estructura atómico-molecular. Enlaces químicos" (Grimm, Würzburg, 4 conferencias), y c) "Estructura nuclear" (Cabrera, 3 conferencias)

Simplemente quiero destacar, en primer lugar, el hecho de su dedicación profesoral en esta singular universidad participando activa y centralmente en las tareas académicas, como complemento de su función rectoral, y, en segundo lugar, que trata específicamente de los dos temas

prioritarios para él, y para el momento histórico, el mundo atómico y la teoría de la relatividad.

Por fortuna dispongo del manuscrito que preparó para el desarrollo del curso sobre relatividad, que escribió con el título de “La teoría de la Relatividad”. Ya he dicho que es intención de los promotores de la “Comemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera” editar unas *Obras completas comentadas*. Por mi parte baste aquí y ahora dejar constancia de la existencia del manuscrito, del que se reproduce su primera página, ofrecer ésta como documento caligráfico y manifestar mi deseo de edición comentada futura en el marco de la obra dedicada a su quehacer como rector en la Península de la Magdalena (Santander).

Curso de 1935, en el que continúa como rector e integrante del Comité de Estudios.

El curso universitario central se tituló “La evolución del Universo” y en él se integraba uno de “Cosmogonía” en el que Cabrera dictaría 4 conferencias.

Curso de 1936, con Blas Cabrera al frente del rectorado. Se incorporó a Santander procedente de una reunión de la Sociedad de Naciones de Ginebra de la “Commission Internationale de Coopération Intellectuelle” que habían presidido Henri Bergson y Hendrick A. Lorentz. A los pocos días estallaría la rebelión militar del 18 de julio y en agosto de este año se iniciaría propiamente, desde el Santander que “conquista/libera” el ‘ejército nacional’, el exilio del físico canario.

## 7. “EVOLUCIÓN DE LOS CONCEPTOS FÍSICOS Y LENGUAJE” (1936)

Un momento que podríamos considerar al modo de Cabrera como ‘aún más solemne’ que los tres solemnes que él narraba en su ingreso en la Academia de Ciencias (doctorado, cátedra, académico) lo constituyó ¡qué duda cabe! su ingreso en la Academia Española (de la Lengua) ocupando el sillón dejado vacante por Cajal.

Su discurso, como es tradicional en sus escritos de esta naturaleza y hemos visto con reiteración en trabajos anteriores, tiene dos partes, que cambia de orden: una, ahora primera, dedicada a lo clásico y grande, que puede considerarse como una nueva loa y glosa de la obra relativista de Einstein; y otra, ahora segunda, al mundo atómico. Nada original en el quehacer blascabreriano en cuanto a los temas que trata aunque sí, quizás, más cuidado literario y más completo y extenso.

Quizá interesa destacar, por lo que respecta a nuestro ensayo, dos juicios de Ignacio Bolívar y Urrutia, en su discurso de contestación al de ingreso de Cabrera.



Primero. El juicio de visión histórico-científica en España que demarca la que puede considerarse 'época Cabrera'. Su discurso comienza:

<< ¡Ojalá lleguen pronto los tiempos del trabajo alegre y de la alegría trabajadora!

Con esta frase terminaba Echegaray el discurso con que la Academia de Ciencias recibía a D. Blas Cabrera hace poco más de veinticinco años. El gran matemático no podía suponer que aquellos tiempos por los que suspiraba con deje de amargura estuvieran tan próximos que pudiera disfrutar de ellos su patrocinado ...

[Y acaba su discurso]

A esto sólo me resta añadir que esa satisfacción se extiende ahora a esta Academia, donde es recibido el nuevo Académico con la seguridad de la activa colaboración que ha de prestarle, celebrando que el progreso de las Ciencias y la consideración que han alcanzado en nuestro país permita modificar la frase de Echegaray diciendo:

*Ya han llegado los tiempos del trabajo alegre y de la alegría trabajadora>>.*

¡Qué ajenos estaban ambos, Bolívar y Cabrera, de sospechar lo que habría de venir seis meses más tarde! La Academia los reunía y este momento los unía en un quehacer común en el trabajo y en la alegría. ¡Qué lejos estaban el uno y el otro del lugar que los reuniría, de nuevo, y ya para siempre, México! Juntos vivieron en la capital azteca y juntos trabajaron por y para la revista *Ciencia*; en su dirección, Cabrera substituyó a Bolívar a la muerte de éste en 1944 y hasta la de Cabrera en 1945.

Segundo. El juicio relativo al tema objeto de nuestra reflexión:

<<Y aparte de estas participaciones en la vida extranjera de la Física, ha tomado otras no menos apreciables y merecedoras del agradecimiento patrio encaminadas a la difusión de los conocimientos de su especialidad en nuestro país, sobre todo en los relativos a temas de gran actualidad, como lo acredita el volumen sobre *Relatividad* que publicó la Residencia de Estudiantes, libro notable no sólo por la claridad con que están expuestas materias tan abstrusas como las que en él se tratan, sino por lo afortunado de su redacción, que podría servir de modelo para esta clase de obras, y basta, como antes dije, a justificar su elección como Miembro de esta Academia>>.



Y llegó la rebelión militar y el aplastamiento de la democracia y ...- según unos- o bien el alzamiento nacional, el glorioso movimiento, ... -según otros-.

Se acabó la Física en España, al menos durante una temporada, se truncó la línea iniciada y firmemente establecida.

Blas Cabrera no quiso participar en la contienda. Integrado en la “Tercera España” optó por el exilio. A principios de 1937 estaba instalado en París, en el Colegio de España, fiel al gobierno legítimo de la República pero lejos de la contienda fratricida.

## NOTAS DEL EXILIO (1937-1945)

Este capítulo se refiere como indica su título a glosar de alguna manera el exilio de Blas Cabrera, desde que opta por abandonar España a principios de 1937 hasta su muerte en el exilio mexicano. Pero sin salirnos del tema de la relatividad. Y además, como notas. Quisiera dedicar, en otra ocasión, una atención especial al exilio de Cabrera en general.

### 1. EINSTEIN EN LOS ESTADOS UNIDOS

Poco interés presenta ya para nuestro ensayo el devenir de Einstein. Digamos que inicia su colaboración con el físico polaco Leopold Infeld, con quien publica en 1938 *La física, aventura del pensamiento*, que en 1939 firma la famosa carta a Roosevelt indicándole la posibilidad de que el uranio pueda constituirse en fuente de energía para bombas de gran potencia y que en 1940 obtuvo la nacionalidad estadounidense.

Cabrera moriría el 1 de agosto de 1945. Unos días más tarde tendrían lugar las explosiones de las primeras bombas atómicas sobre Nagasaki e Hiroshima. Einstein reiteraría su pacifismo.

### 2. RUINA, CAOS, DIÁSPORA

¡Qué más puede decirse relativo a la Física en España en estos años! Silencio.

### 3. CABRERA EN EL EXILIO

De nuestra obra anterior tomo para esta ocasión, como en anteriores capítulos, las notas caracterizadoras de esta fase final de la vida de Cabrera.

Primera. En París se manifiesta una clara continuidad como *físico experimental* en magnetismo. Destacan: 1) su intento de montar un laboratorio; 2) sus relaciones internacionales; y 3) sus publicaciones científicas.

Segunda. En México merecen destacarse: a) su condición de *profesor*

de Física atómica y de Historia de la Física, ya sin posibilidades de experimentar por las dificultades en México para ello; y b) desempeña una interesante tarea de *escritor científico*, con buenos textos de difusión de cultura científica de elevado rango.

#### 4. EL INÉDITO “TEORÍA DE LA RELATIVIDAD”

El exilio mexicano tampoco fue ajeno a la preocupación intelectual por la relatividad del físico canario. Ya ajeno a la investigación experimental, imposible en la nueva situación, en su condición de profesor de Historia de la Física y de Física atómica preocupado por los temas culturales de la Física, publicó “Naturaleza y laboratorio”, “Cincuenta años en la evolución del concepto de materia” y “Evolución de las ideas en la física”.

Entre sus inéditos, mecanografiados y manuscritos, nos dejó un texto de “Teoría de la Relatividad” que reproduciré y comentaré con más extensión, ¡ojalá!, en una próxima monografía referida a su exilio.

Las novedades radicales, a mi juicio, que aparecen en este trabajo de Cabrera son tres.

Primera. La no condena *a priori* y radical, en nombre de la ‘inercia intelectual’ que podría considerarse insultante, de quienes no aceptaran la relatividad que con el tiempo tendría que acabar imponiéndose. No es ahora la teoría en sí suficientemente importante sino la confirmación de sus previsiones: es decir, el acuerdo con la experiencia o con la realidad.

Segunda. Presta cierta atención a los intentos de creación de concepciones que pueden considerarse de alguna manera clásicas. Reproduciré algunas frases de este inédito de Cabrera:

<<Los resultados empíricos relativos a tales previsiones de Einstein se confirman dentro de los errores experimentales. Desgraciadamente no ha sido posible obtener otro criterio para comprobar la teoría, pero cualquier otro que se pretenda formular contra la teoría de Einstein deberá ante todo darnos cuenta de estos fenómenos [la precesión del perihelio de Mercurio, la desviación de la luz al pasar próxima a una gran masa gravitatoria -“la luz pesa”-, y el corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales con el crecimiento gravitatorio].

De los varios intentos formulados para tal fin conservando las ideas fundamentales de la ciencia clásica sólo Birkhoff ha logrado éxito con una concepción que ha encontrado

colaboración esencial en México.>><sup>22</sup>

Tercera. Lo que resulta aún de mayor interés o sorpresa en el análisis blascabreriano de la confrontación Birkhoff-Einstein no es sólo su consideración sino la *aceptación de la posibilidad* de que Birkhoff pudiera 'estar en lo (más) cierto'. He aquí sus frases finales:

<<De toda suerte se tiene aquí la posibilidad de nuevas confirmaciones experimentales obtenibles por el perfeccionamiento de las observaciones astronómicas. Ello puede dar la base de nuevas pruebas en favor de la referida teoría de Birkhoff>>.

---

<sup>22</sup> ¡Cuánta alegría hubiera producido a Palacios conocer este trabajo mexicano de su maestro! Pero no le fue posible. Cargó con el sambenito de la *inercia intelectual* y en el silencio de la lealtad al maestro. Desaparecido éste y Terradas, inició su senda antirrelativista. Este interesante tema de la Física española se trata con detalle en el libro en preparación *Julio Palacios ante Einstein y la relatividad*.

## A MODO DE EPÍLOGO: UNA CONTEXTUALIZACIÓN COMPLEMENTARIA

A los efectos de su difusión, este libro se ha concebido como un medio más entre otros (ciclos de conferencias en las diferentes islas, exposición “Blas Cabrera; vida y obra de un científico” con treinta mil catálogos de mano y un libro-catálogo, congreso conmemorativo y edición de sus obras completas comentadas; todo ello integrado en la “Conmemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera”) de dar a conocer al ilustre científico lanzaroteño, primordialmente en el ámbito geográfico del archipiélago canario.

He procurado (con la consciencia presente de la atención complementaria a diferentes frentes demasiado próximos) que pueda leerse por sí solo; con otras palabras, que constituya una unidad coherencial autosuficiente. Es difícil que lo haya conseguido. No obstante, espero -mejor, quiero esperar- de la benevolencia del lector que haya quedado aceptablemente satisfecho. Y ello por lo que respecta a los diversos temas en liza: la biografía de Einstein, sobre todo en el tema de la relatividad, la evolución de la Física en España, la biografía de Cabrera y el proceso relacional del físico canario con Einstein y la relatividad, objeto propio del ensayo.

A la esperanza básica de que el lector haya quedado aceptablemente satisfecho con este ensayo, uno la esperanza complementaria de que le haya sabido a poco y desee profundizar algo más en los diferentes temas, de modo que el ensayo sea sólo un aperitivo a la espera de manjares más selectos y mejor cocinados. Puede recomendarse el siguiente menú.

En primer lugar, por lo que respecta al contenido de la obra de Einstein.

El marco de referencia primero de este texto lo constituye el proceso histórico de creación por Einstein de sus Teorías de la relatividad especial y general, la recepción de la misma por la comunidad científica y su difusión científica, filosófica e histórica. Contexto, pues, definido por el contenido y el momento histórico en que se produce la obra genial del físico alemán.

Este contexto puede quedar estrictamente delimitado por las siguientes obras y fechas de publicación:

- 1) 1905. *Teoría especial de la relatividad.*
- 2) 1915. *Teoría general de la relatividad.*

En castellano, y escrito por el mismo Einstein, dicho contexto puede completarse, y en algunos aspectos mejorarse, con las obras posteriores que considero fundamentales y de las que existen versiones en español de fácil acceso. Son las siguientes:

1916. *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*.

1922. *El significado de la relatividad*.

Complementariamente debo recomendar el libro de Cabrera *Principio de relatividad* (1923).<sup>23</sup>

En segundo lugar, por lo que respecta a los procesos de elaboración por Einstein de la teoría de la relatividad, de la recepción de la misma por la comunidad científica y de su difusión.

Un segundo marco de referencia para este ensayo, en este sentido, lo constituye el libro de Sánchez Ron *El origen y desarrollo de la relatividad*.

En tercer lugar, por lo que respecta a la conexión de la ciencia española con Einstein.

Es recomendable el libro de Glick *Einstein y los españoles*. Con una finalidad más ambiciosa, en él hay un estudio interesante acerca de la España de entreguerras en la que destaca la existencia de un 'discurso civil' que se romperá con el enfrentamiento que estalla en 1936.

En cuarto lugar, por lo que respecta directamente a Blas Cabrera.

A falta de la biografía general y completa proyectada como colofón de los actos conmemorativos, de momento pueden considerarse como documentalmente más significativos: a) nuestra obra reciente *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre*, editada con el patrocinio del Cabildo Insular de Lanzarote; y b) la obra colectiva, aún más reciente, del libro-catálogo de la exposición *Blas Cabrera: vida y obra de un científico*.

Todos estos documentos son de fácil acceso y en todo caso recomendables. Constituyen un contexto necesario en el que se comprenderá mejor nuestro enfoque, tratamiento específico y novedades.

A pesar de todo ello -y, precisamente, por todo lo que ya se va escribiendo- aún quedaría un enigma que no debo silenciar ante los amables lectores: el 'tema Palacios', ausente en el libro de Sánchez Ron (se echa en falta, al menos, una nota de pie de página en su descripción de la recepción de la relatividad en Leiden) y prácticamente desapercibido (hasta la muerte de Einstein), a los efectos de nuestra consideración, en el de Glick. Espero que

<sup>23</sup> Por lo que a mí respecta he escrito sobre estos temas en (1972) *Problemas de Análisis Tensorial*, Copigraf, Madrid; (1994) *Curso de Cosmología: física, filosofía, religión*, Universidad de La Laguna; (1995) *Curso de Cosmología: en torno al tiempo. Física, filosofía, matemática, religión*, Universidad de La Laguna [en prensa].

no acabe este año de 1995, en el que debe conmemorarse el XXV Aniversario de la muerte de Julio Palacios, sin que vea la luz el libro *Julio Palacios ante Einstein y la Relatividad*.

Blas Cabrera y Julio Palacios han constituido los dos focos principales de la Física española de los dos primeros tercios de este siglo. Con ellos y desde ellos se conoce lo que esta ciencia ha sido y pudo haber sido en la España de sus respectivos tiempos, parcialmente solapados.

# **II**

# **ANEXOS**



A).

## **TEXTOS DE BLAS CABRERA**

A.I. "APLICACIÓN A LA FÍSICA DE LA GEOMETRÍA DE  
LAS CUATRO DIMENSIONES" (1914)

===== INSTITUTO =====  
===== DE =====  
INGENIEROS CIVILES

**Aplicación á la Física de la Geometría**  
**===== de las cuatro dimensiones =====**

**CONFERENCIA**

**DADA POR EL CATEDRÁTICO**

**DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL**

**DON BLAS CABRERA**

**::: 28 DE MARZO DE 1914 :::**

ESTÁBLECIMIENTO TIPOGRÁFICO  
DE PRUDENCIO P. DE VELASCO,  
CALLE CAMPOMANES, 4. MADRID.

Aplicación á la Física de la Geometría  
de las cuatro dimensiones.

INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

---

# Aplicación á la Física de la Geometría de las cuatro dimensiones.

---

CONFERENCIA

DADA POR EL

CATEDRÁTICO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL

**DON BLAS CABRERA**

---

28 de Marzo de 1914.



MADRID

IMPRESA DE PRUDENCIO PÉREZ DE VELASCO

Calle de Campomanes, número 4,

1914

**Señores:**

Me propongo exponer las ideas y conceptos fundamentales de un capítulo de la Ciencia, que ha puesto de manifiesto una vez más cómo teorías matemáticas que parecían en un principio sin utilidad práctica han llegado á convertirse en auxiliar poderoso para el progreso de las ciencias naturales. Realmente no es este caso nuevo, ni hay en ello motivo alguno de extrañeza, porque una teoría matemática se reduce en último análisis á un razonamiento complicado, un método de pensar, aplicable á hechos ú objetos reales que cumplan con determinadas condiciones, sea cual fuere su naturaleza. Baste recordar que tanto la teoría de la elasticidad, como la de la conducción del calor y la electricidad, la hidrodinámica, como el problema de la distribución del campo electromagnético; en una palabra, la casi totalidad de la Física clásica se fundan en la resolución de una ecuación de derivadas parciales, cuya forma más completa es

$$\Delta u = k \frac{d^2 u}{dt^2}.$$

Y entendido así es concebible que una de esas formas de razonar, una de esas teorías matemáticas, permanezca un tiempo más ó menos largo sin encontrar objetos adecuados á qué aplicarse, y no sólo es concebible, sino además deseable, porque si al surgir en las ciencias experimentales un

— 6 —

conjunto de hechos nuevos, refractarios á todos los métodos clásicos, disponemos de otros bien apropiados, el progreso científico se realiza con paso seguro; mientras que si la teoría matemática adecuada no ha nacido, la Ciencia ha de proceder por tanteos inseguros y sin dar la impresión de una construcción sólida.

La física moderna nos suministra un ejemplo de cada uno de estos dos casos posibles. De una parte, la teoría de la relatividad, de cuyo aspecto geométrico vamos á ocuparnos; de otra, la hipótesis de los *quanta*. Ambas han nacido de una manifiesta oposición entre los hechos ó fenómenos naturales y los métodos de razonar clásicos; pero mientras la primera encontró teorías matemáticas que se amoldaban á su naturaleza y avanzó rápidamente, engendrando un cuerpo de doctrina de lógica impecable, la segunda busca aún su expresión adecuada, y á pesar de que desde el punto de vista experimental se presenta preñada de promesas y permite vislumbrar un horizonte inmenso, lógicamente es un edificio sin cimientos, peor aún, fundado en principios que son contradictorios.

\*  
\* \* \*

Ciñéndonos más á nuestro tema, veamos cuál es el conjunto de hechos que han servido de punto de partida á la teoría de la relatividad.

La teoría de todos los fenómenos electromagnéticos, incluyendo entre ellos los ópticos, es un simple corolario de las cuatro ecuaciones siguientes:

$$\operatorname{div} E = 4\pi\rho,$$

$$\operatorname{div} H = 0,$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{1}{c} \left( \frac{dE}{dt} + 4\pi\rho v \right),$$

$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{dH}{dt};$$

— 7 —

en las cuales  $E$ , es el campo eléctrico;  $H$ , el magnético;  $\rho$ , la densidad de las cargas eléctricas;  $v$ , la velocidad con que se transportan en el espacio;  $c$ , la velocidad de la luz, y  $t$ , el tiempo. Estas ecuaciones se han obtenido por generalización de las leyes experimentales; pero su verdadera comprobación se encuentra en la conformidad de los hechos previstos con los observados. Esta conformidad se conserva mientras no se toma en cuenta el posible movimiento uniforme y rectilíneo del sistema en conjunto, en cuyo caso existe manifiesta contradicción entre sus predicciones y los resultados experimentados.

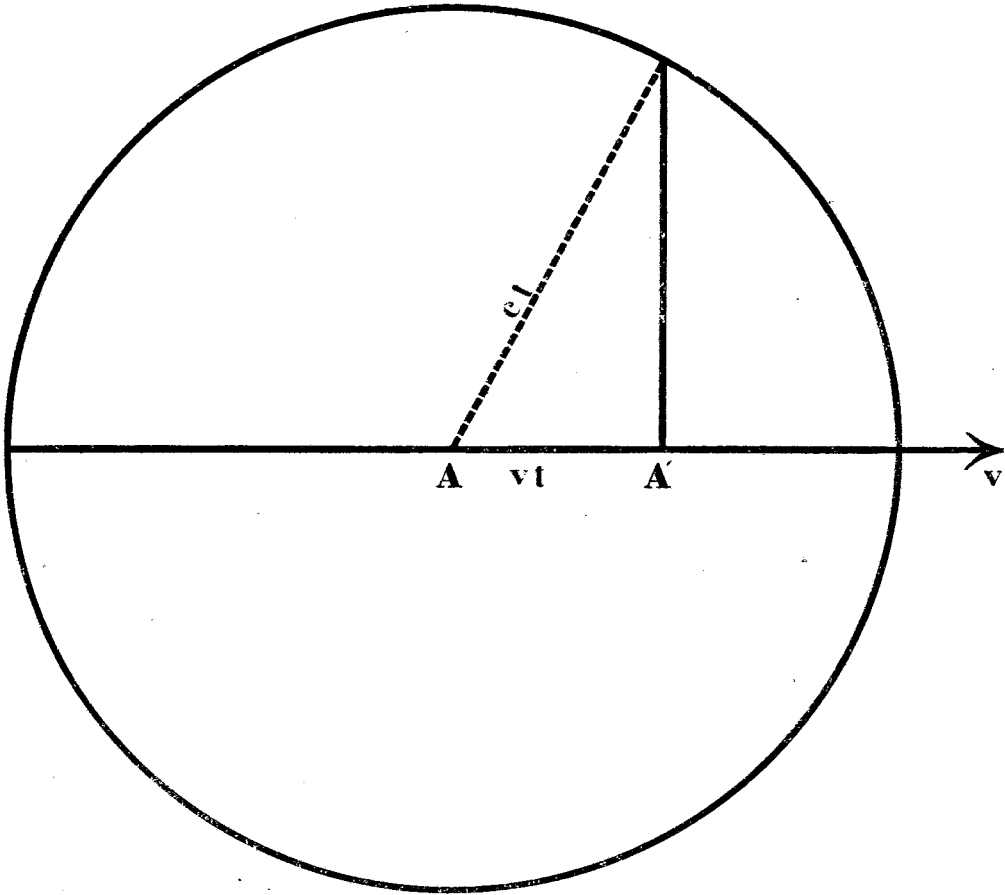
Fijémonos en el caso que presenta mayor interés histórico.

La teoría electromagnética postula la existencia del éter, que llena la totalidad del Universo, penetrando hasta el seno de la materia ponderable, éter definido por aquel sistema de ecuaciones. Ahora bien: en un cuerpo en movimiento pueden ocurrir una de las dos cosas siguientes: ó el éter embebido en él es arrastrado, como una esponja transporta el agua que ha absorbido, ó, por el contrario, queda en reposo absoluto; caso que, si bien no tiene análogo en el movimiento de los cuerpos, en el seno de los flúidos es teóricamente concebible. En el primer supuesto, si en un punto  $A$  (fig. 1.<sup>a</sup>) del cuerpo se produce una emisión luminosa, la onda esférica engendrada tendrá constantemente por centro dicho punto, y la velocidad de propagación para un observador situado en el interior del cuerpo será independiente de la dirección. En el segundo caso el foco de emisión se alejará del centro de la onda con velocidad  $v$ , y el nuevo valor de  $c$  cambiará con la dirección, pues mientras en el sentido del movimiento es  $c - v$ , en el opuesto será  $c + v$ , y normalmente  $\sqrt{c^2 - v^2}$ , según se reconoce inmediatamente en la figura. Tenemos, pues, un primer criterio para conocer si el éter es ó no arrastrado por la materia: medir la velocidad de la luz en diferentes direcciones.

El siguiente problema suministra otro criterio para el mismo fin: supongamos un segundo punto  $B$  (fig. 2.<sup>a</sup>) fijo en

— 8 —

el cuerpo, y veamos con qué dirección ha de orientarse un rayo desde  $A$  para que encuentre á  $B$ . Si el éter es arrastrado por el cuerpo, esta dirección coincide evidentemente con la recta  $AB$ ; pero si el éter permanece en reposo, mientras la

Figura 1.<sup>a</sup>

onda va de  $A$  á  $B$ , este último punto ha pasado á  $B'$ , de suerte que la dirección de la emisión será la  $AB'$ , cuyo ángulo con  $AB$  crecerá con  $\frac{v}{c}$ .

Es evidente que si la teoría que discutimos es perfecta,



— 9 —

la solución que encontremos aplicando cada uno de los criterios será la misma. Ahora bien; en contra de esta presunción, cada uno de ellos conduce á un resultado diferente.

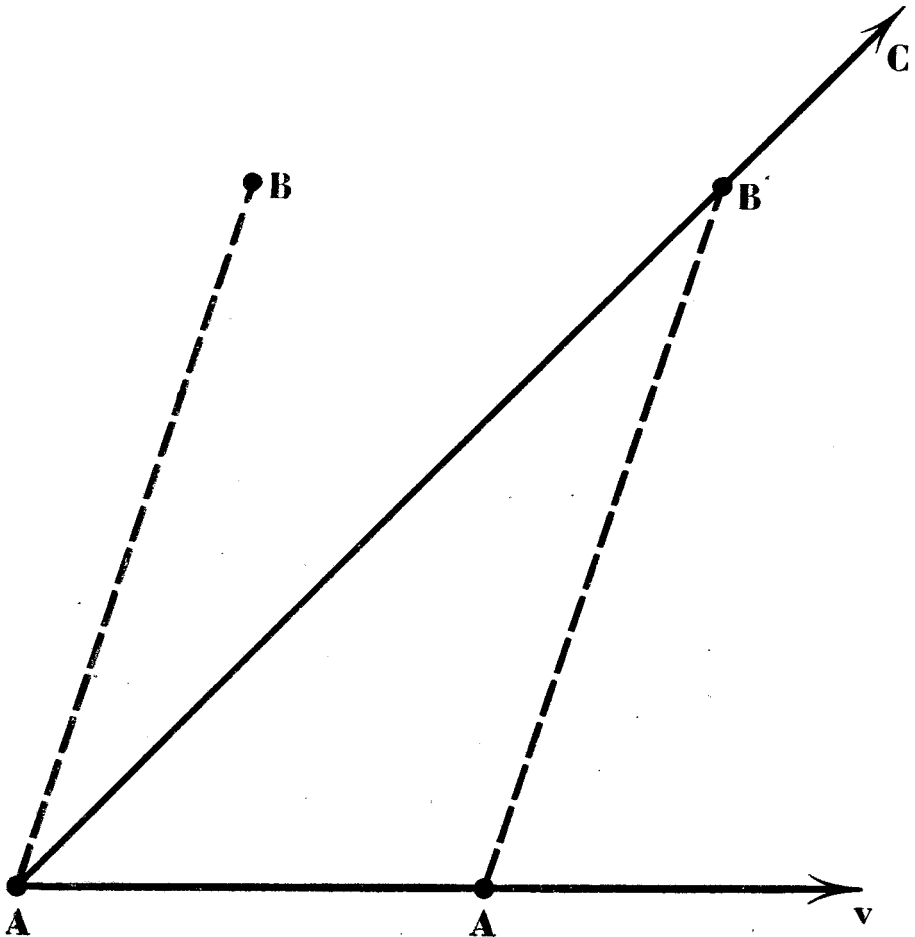


Figura 2.<sup>a</sup>

Mientras del segundo se deduce que el éter permanece en reposo, el primero afirma que es arrastrado.

Comencemos por el segundo criterio. Identifiquemos *A* con el centro óptico del objetivo de un antejo, y *B* con la

— 10 —

cruz filar del retículo. Para que un rayo luminoso que llegue á  $A$  pase por  $B$ , es necesario que el eje óptico  $AB$  del ante-ojo forme un ángulo con la dirección  $AB'$  del rayo: tal es el fenómeno clásico de la aberración de la luz. Luego, según esto, el éter no participa del movimiento del cuerpo, como habíamos anticipado.

Tomemos ahora un rayo que dividimos en dos, mediante el cristal  $A$  (fig. 3.<sup>a</sup>). Ambos continuarán en direcciones perpendiculares hasta llegar á los espejos  $B$  y  $B_1$ , equidistantes de  $A$ , que los reflejan en la misma dirección. Al llegar de nuevo á  $A$ , cada uno se subdivide superponiéndose los rayos que resultan: consideremos los dos que llevan la dirección  $AC$ . Estos rayos formarán un sistema de bandas de interferencia que recogeremos en la pantalla  $C$ . Hasta aquí hemos supuesto implícitamente el sistema en reposo. Admitamos ahora que se mueve en la dirección  $AB$  con la velocidad  $v$ . Si el éter es arrastrado por el cuerpo, las velocidades, según  $AB$  y  $AB_1$ , serán iguales, y la posición de las franjas en  $C$  no cambiará; pero si el éter permanece en reposo, la velocidad de la luz al ir de  $A$  á  $B$  será  $c - v$ , y al volver de  $B$  á  $A$ ,  $c + v$ , de suerte que llamado  $d$  la distancia común de  $A$  á  $B$  y  $B_1$ , el tiempo invertido por la luz en el recorrido  $ABA$ , será

$$t = \frac{d}{c-v} + \frac{d}{c+v} = \frac{2d}{c} \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} + \dots \right),$$

mientras que en la dirección  $AB$ , perpendicular al movimiento, la velocidad es  $\sqrt{c^2 - v^2}$ , tanto á la ida como á la vuelta, y el tiempo invertido en el recorrido  $AB_1A$

$$t_1 = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2d}{c} \left( 1 + \frac{v^2}{2c^2} + \dots \right).$$

Luego el retardo de una onda respecto de la otra será

$$t - t_1 = \frac{d}{c} \frac{v^2}{c^2},$$

y, por tanto, las franjas experimentarán un corrimiento.

— 11 —

Tal es el esquema del experimento de Michelson, en el cual la precisión de los aparatos era suficiente para acusar una diferencia igual á la centésima parte de la cantidad prevista, sin que, á pesar de ello, se notase variación alguna en la po-

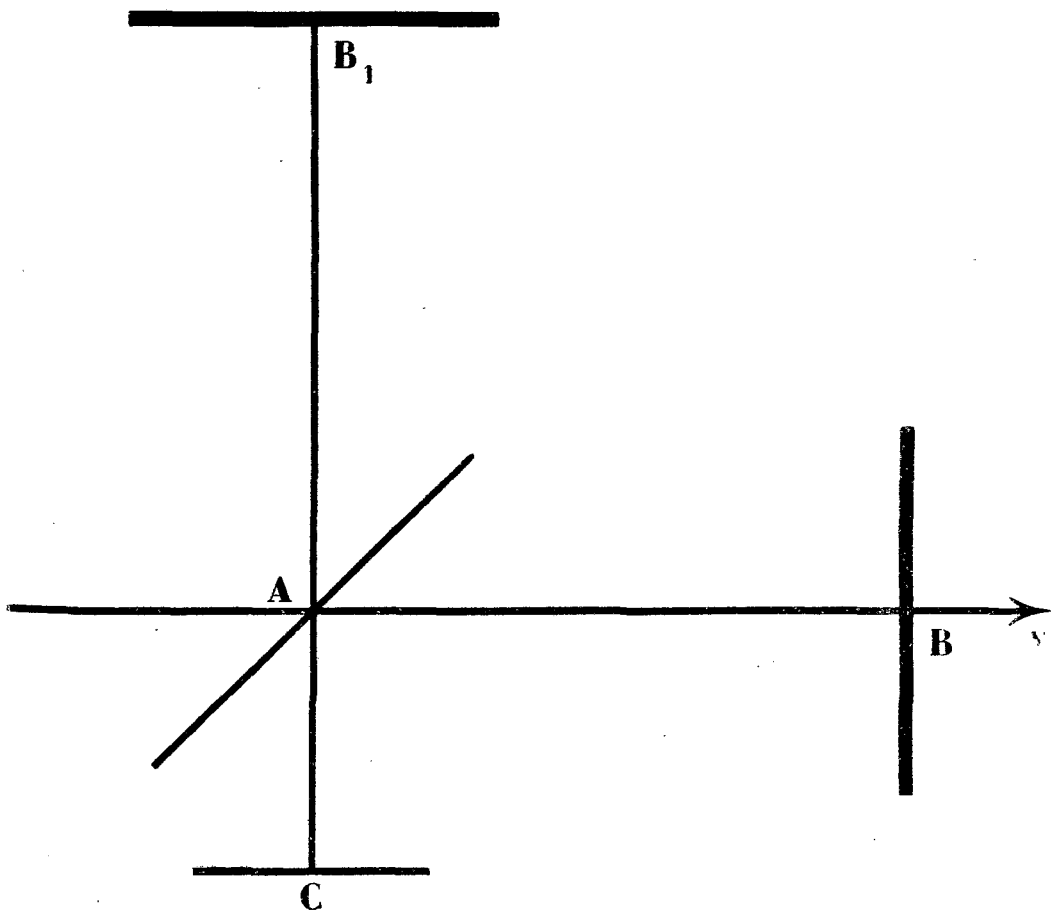


Figura 3.<sup>a</sup>

sición de las franjas, denotando que el éter debe ser arrastrado por los cuerpos que se mueven en su seno, en abierta contradicción con la que exige el fenómeno de la aberración.

— 12 —

La contradicción que acabamos de señalar no es única. Existen otros varios experimentos que conducen á resultados análogos, y como en dichas condiciones no es posible rechazar los resultados experimentales, debemos concluir que la aplicación de las teorías clásicas á estos grupos de hechos es imposible, puesto que la contradicción señalada no puede existir en los fenómenos mismos, sino en nuestros razonamientos.

\*  
\* \*

La posibilidad de distinguir, mediante los experimentos citados, si un sistema se encuentra ó no en reposo respecto del éter, depende de la admisión del grupo de ecuaciones de transformación

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t\end{aligned}$$

de la mecánica, para pasar de los ejes coordenados fijos en el éter á aquellos que lo están al cuerpo en movimiento con velocidad  $v$ .

Este grupo de ecuaciones es la traducción analítica del principio clásico del movimiento relativo, según el cual es imposible reconocer el movimiento absoluto de un cuerpo en el espacio *utilizando únicamente los fenómenos mecánicos*. Así, pues, admitir este principio sin modificación equivale á reconocer la posibilidad de medir el movimiento absoluto por medios físicos, con lo cual nos vemos arrastrados á las contradicciones que nos preocupan.

Parece, pues, que el medio más lógico de obviar estas dificultades es prescindir de aquella hipótesis, y generalizar aquel principio, suponiendo que también son impotentes los métodos físicos para determinar el movimiento absoluto. Entonces se llega á un grupo de ecuaciones de transfor-

— 13 —

mación distinto del anterior, y que puede escribirse en la forma

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x - vt),$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( t - \frac{v}{c^2} x \right).$$

Así, realizando la transformación de las ecuaciones fundamentales del campo electromagnético, mediante el grupo anterior, eliminamos los resultados contradictorios analizados hace un momento, pero se comprende sin dificultad que esto no puede lograrse sin que surjan corolarios manifiestamente opuestos á ciertas ideas y conceptos que tenemos por axiomáticos merced á los hábitos mentales creados por las teorías clásicas; verdadero sedimento cuyo espesor crece con los años, y que constituye la dificultad más grave para toda renovación de las doctrinas científicas. Y suele frecuentemente ser tan profunda la raigambre de estos falsos axiomas, que con dificultad se les distingue de los verdaderos, llevándonos á considerar absurdas proposiciones obtenidas con lógica intachable.

A este grupo pertenece la noción de la independencia absoluta del espacio y el tiempo, presupuesta en la mecánica ordinaria. Es evidente que ambos conceptos son irreductibles, pero ello no trae aparejada su independencia. Precisamente la negación de tal postulado constituye uno de los corolarios característicos del nuevo grupo de ecuaciones de transformación; el tiempo y el espacio figuran en él con una cierta simetría que aparece con mayor claridad si se reemplaza la variable  $t$  por la

$$u = ct,$$

— 14 —

pues entonces se convierte en

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( x - \frac{v}{c} u \right),$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$u' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( u - \frac{v}{c} x \right).$$

Para apreciar mejor la diferencia radical que existe entre la nueva ciencia y la ciencia clásica, en cuanto á la noción del tiempo, interpretemos físicamente el contenido de estas ecuaciones. Dotemos á cada punto del sistema móvil ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) de un reloj que mide el tiempo  $t'$ , ó su coordenado equivalente  $u'$ ; sin dificultad puede lograrse que en cada instante todos estos relojes señalen la misma hora. Hagamos lo mismo con el sistema fijo ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Supongamos, además, que un observador correspondiente á este último sistema encuentra medio de leer en un *instante determinado* todos los relojes de ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ). Según la ciencia clásica, la lectura en todos estos relojes sería idéntica, para la nueva ciencia cada uno marcará un tiempo distinto; de suerte que nuestro observador calificaría de *simultáneos* un conjunto de hechos que para otro observador arrastrado por ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ), transcurrirían en un período de tiempo tanto mayor cuanto más grande sea la extensión del sistema. Tal es la traducción al lenguaje vulgar de la última ecuación del grupo.

Pasemos á otra noción de la mecánica clásica incompatible también con el principio de relatividad generalizado. Sea una barra rígida paralela á  $x$  y de longitud  $l_0$ . Si se mueve con ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) su longitud, medida por la diferencia de coordenadas de sus extremos, será la misma que antes

$$l_0 = x'_2 - x'_1.$$

— 15 —

Pero medida por  $(x, y, z)$ , como diferencia de las coordenadas de estos mismos puntos en un instante  $t$ , tendrá el valor

$$l_1 = x_2 - x_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} (x_2 - x'_1) = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} l_0,$$

que nos indica un acortamiento en la dirección del movimiento.

Otro corolario no menos interesante que los anteriores es la imposibilidad de que un cuerpo, y aun cualquier fenómeno, se mueva ó propague con velocidad  $v$  superior á la de la luz  $c$ . Esto es: siempre  $v < c$ . Si esta condición no se cumpliera, los valores de  $x'$  y  $t'$  ó  $u'$ , correspondientes á otros reales y finitos de  $x$  y  $t$  ó  $u$ , serían infinitos ó imaginarios. En lenguaje corriente: fenómenos que para un observador fijo se producen en un punto determinado del cuerpo en movimiento y en un instante definido, no existirían para un observador arrastrado por el mismo, y recíprocamente; de suerte que á cada uno corresponderá un mundo particular absolutamente independiente del otro.

\*  
\* \*

Prescindiendo de realizar un análisis acabado de las proposiciones que hemos reseñado como primeras consecuencias del principio de relatividad, análisis que nos conduciría á reconocer su perfecta conformidad con los resultados de la experiencia y la observación, volvamos al grupo de ecuaciones de transformación que interpretan analíticamente aquel principio.

Para su obtención se supone que el sistema móvil tiene sus ejes paralelos á los correspondientes al fijo, y que, además, la traslación se realiza en la dirección definida por  $x$ . Entonces los valores de  $y$  y  $z$  se conservan invariables y podemos hacer caso omiso de ellos, concretándonos al estudio

— 16 —

de la transformación para un sér que habitase un mundo lineal.

La condición  $\frac{v}{c} < 1$  nos permite igualar dicha presión á la  $th^\theta$ , donde  $\theta$  puede variar de  $-\infty$  á  $+\infty$ ; puesto que es bien sabido que dicha función estará comprendida entre  $-1$  y  $+1$ . Mediante tal cambio las fórmulas que definen  $x'$  y  $u'$  se convierten en las

$$(a) \quad \begin{aligned} x' &= x \operatorname{ch} \theta - u \operatorname{sh} \theta \\ u' &= -x \operatorname{sh} \theta + u \operatorname{ch} \theta \end{aligned}$$

de donde se deduce para invariante de la transformación

$$x'^2 - u'^2 = x^2 - u^2.$$

Surge inmediatamente la analogía de forma de este sistema de ecuación con las que definen el cambio de ejes rectangulares en un plano, permaneciendo fijo el origen,

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \varphi + u \operatorname{sen} \varphi, \\ u' &= -x \operatorname{sen} \varphi + u \cos \varphi, \\ x'^2 + u'^2 &= x^2 + u^2, \end{aligned}$$

cambio que evidentemente se reduce á una rotación  $\varphi$  alrededor de dicho punto. Esta analogía lleva á considerar que las ecuaciones (a) determinan también una rotación en una geometría no euclidiana, cuyas *circunferencias* se definen por el invariante de la transformación, y, por consiguiente, se confunden con hipérbolas equiláteras de la geometría ordinaria (fig. 4.<sup>a</sup>).

Puesto que la nueva geometría no ha de satisfacer á otra condición, es evidente que cuantos postulados ó teoremas sean independientes de la noción de rotación podrán ser idénticos á los de la geometría ordinaria. Así, no hay dificultad en conservar la noción del paralelismo, la igualdad y proporcionalidad de segmentos ó áreas, siempre que dichos



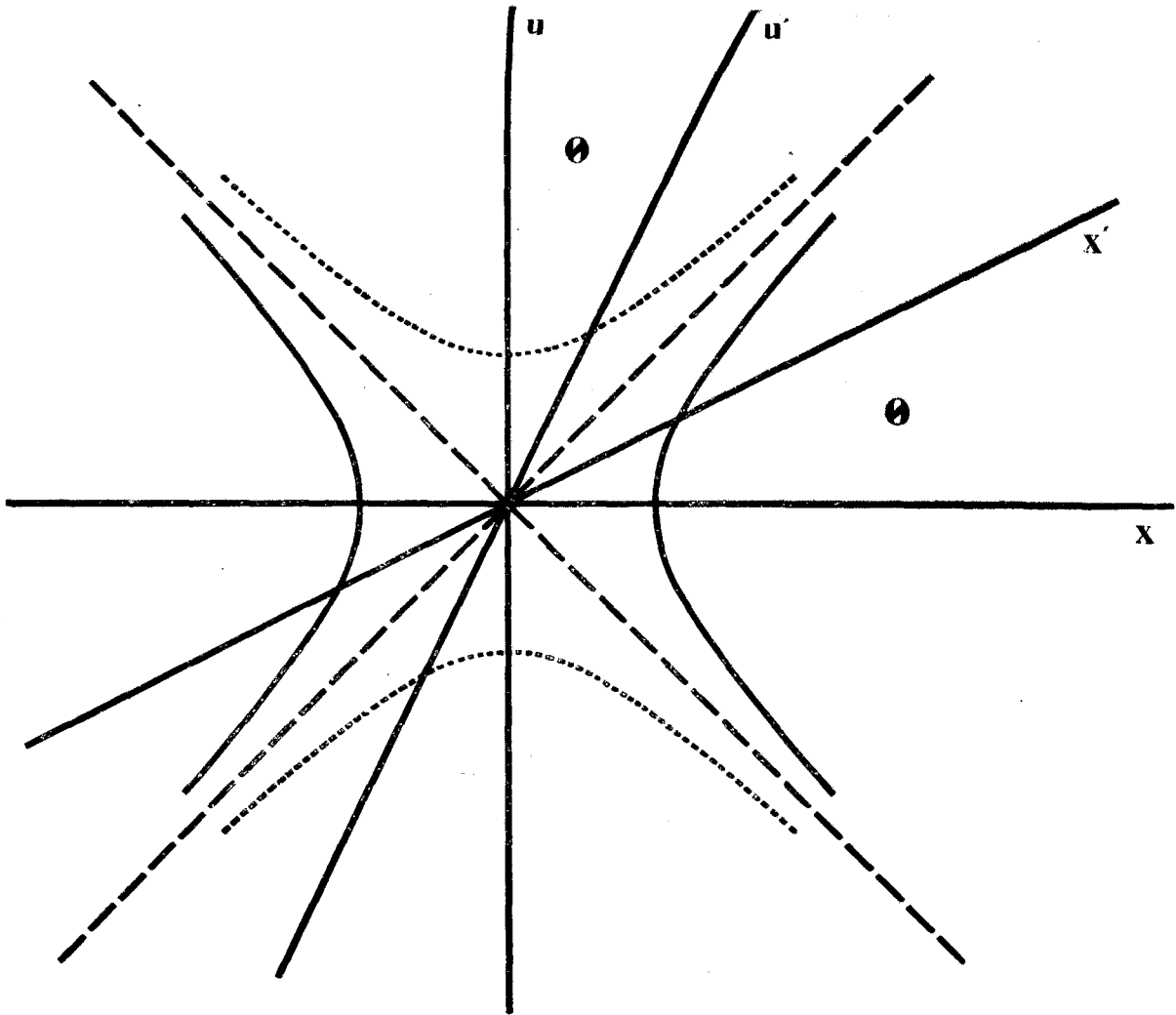


Figura 4.<sup>a</sup>

— 18 —

segmentos sean paralelos y las áreas limitadas también por líneas paralelas entre sí. Pero si dicha condición no se cumple, la comparación no puede realizarse sin una rotación, con lo cual aparece la divergencia con la geometría euclidiana. Y, en efecto, así como en esta última dos segmentos no paralelos son iguales cuando sus longitudes son idénticas á las de dos radios de una circunferencia, en las geometrías compatibles con el principio de relatividad aquella igualdad existe si las indicadas longitudes son iguales á los dos radios vectores de la hipérbola.

Si se quiere buscar una diferencia bien característica entre ambos conceptos de la rotación, acaso ninguna como la que surge al comparar la definición vulgar de rotación con su correspondiente para las nuevas geometrías. Rotación, dice la Geometría de Euclides, es el movimiento de una figura indeformable, en el cual se conserva fijo un punto. Rotación, debemos ahora decir, es el movimiento de una figura en el cual se conservan fijos un punto y dos rectas que pasan por él: las dos asíntotas de la hipérbola equilátera. En efecto: si damos á la rotación no euclidiana  $\theta$  todos los valores posibles de  $-\infty$  á  $+\infty$ , el análisis elemental nos enseña que el radio vector que termina en el punto de la hipérbola cuyas coordenadas son proporcionales á  $sh \theta$  y  $ch \theta$ , describe el sector limitado para dichas rectas.

De esta suerte todas las rectas del plano que pasan por el origen quedan divididas en dos grupos: unas, interiores al ángulo de las asíntotas, y que cortan por consiguiente á las hipérbolas

$$x^2 - u^2 = \text{const},$$

y otras, exteriores á dicho ángulo, que cortan á las hipérbolas conjugadas. Al primero pertenece el eje  $x$  y al segundo el  $u$ .

Volvamos al cambio de un sistema de referencia en reposo á otro en movimiento con velocidad  $v$ , ó sea á la rotación de los ejes definida por  $\theta$ . El nuevo eje  $x'$  lo obtendré-

— 19 —

mos mediante la condición  $u' = 0$ , que nos conduce á la ecuación

$$\frac{u}{x} = \text{th } \theta ;$$

para  $u', x' = 0$ , de donde

$$\frac{x}{u} = \text{th } \theta .$$

Así los nuevos ejes son diámetros conjugados de la hipérbola.

Según esto, el nuevo eje  $x'$  será siempre una recta de la misma clase que  $x$ , y el  $u'$  de la misma que  $u$ . Recíprocamente, una cualquiera de aquellas representará para el observador fijo al sistema primitivo, un movimiento uniforme, ó sea las posiciones *sucesivas* de un punto, mientras que una recta del segundo grupo representará la marcha de los relojes móviles, ó sea las horas que indican *simultáneamente* los relojes situados á diferentes distancias.

\*  
\* \*

Demos un paso más é imaginemos un sér perteneciente á un espacio de dos dimensiones, ó expresándolo con mayor rigor, un sér que por su especial constitución refiera todo el mundo exterior á su proyección sobre un plano. Analíticamente este supuesto equivale á admitir que la dirección de la velocidad  $v$  con que se mueve el sistema  $(x', y', z')$  respecto al  $(x, y, z)$  puede ser cualquiera dentro del plano  $(x, y)$ . Las fórmulas de transformación se complican, figurando  $x$  é  $y$  con simetría perfecta; pero prescindiremos de ellas, fijándonos exclusivamente en su interpretación geométrica.

Evidentemente podemos repetir aquí cuanto hemos dicho anteriormente respecto al fundamento de la diferencia entre la geometría clásica y el grupo de aquellas compatibles con el grupo de ecuaciones de transformación impues-

— 20 —

to por el principio de relatividad. Este fundamento, lo recordamos, no es otro que el distinto concepto de la rotación, que aquí tendrá lugar en un espacio de tres dimensiones. Al par de rectas invariables, definido por la ecuación

$$x^2 - u^2 = 0,$$

corresponderá ahora la superficie cónica

$$x^2 + y^2 - u^2 = 0,$$

asintótica á los hiperboloides

$$x^2 + y^2 - u^2 = \text{const.}$$

Esta superficie cónica dividirá todas las rectas del espacio en dos clases. A la primera pertenecen todas las contenidas en el cono, y á la segunda las exteriores á él. De igual manera se clasifican los planos, según corten ó no á la superficie cónica. Una recta ó plano de uno de los grupos no puede nunca llegar á confundirse con un elemento del otro, de suerte que siempre el eje  $u$  será una recta interior y el plano  $(x, y)$  exterior. De otra manera los ejes  $u$  cortarían siempre á los hiperboloides de dos hojas y los  $x$  é  $y$  á los de una, siendo aquél y el plano de estos dos, elementos conjugados respecto á dichas superficies.

Interpretemos físicamente estas importantes propiedades. Comencemos suponiendo que el cambio de coordenadas tiene lugar conservando la  $u$ : esto equivale á suponer que el nuevo sistema permanece fijo respecto al primitivo. El cambio admitirá como invariante la expresión

$$x^2 + y^2 = \text{const}$$

y será una *rotación euclidiana*. Por consiguiente, dentro de esta amplia concepción del universo, en la cual el espacio y el tiempo no son absolutamente independientes, la geome-

tría de la forma de los cuerpos continúa siendo la geometría euclidiana. La importancia filosófica de esta conclusión es de tal modo evidente que apenas si necesita que insista en ella. Constituye la expresión más clara del sentido en que la teoría de la relatividad considera el tiempo como una nueva dimensión del universo, dimensión de un género especial, absolutamente distinto del que corresponde á las del espacio propiamente dicho.

Pasemos ahora el caso general, en que se cambia también el eje  $u$ . Como hemos ya indicado, el plano  $x'$ ,  $y'$  cortará al hiperboloide de una hoja, pero su intersección será una elipse en vez de un círculo. Físicamente esto quiere decir que la geometría de la forma de los cuerpos en movimiento es euclidiana, no sólo para un observador arrastrado por ellos, sino para un observador fijo. Pero para este último la forma de los cuerpos experimenta un aplastamiento en la dirección del movimiento, cuya existencia hemos ya señalado. Así un círculo dibujado en el plano se convierte en una elipse cuyo eje menor se confunde con la dirección del movimiento.

Si ahora prescindimos de toda restricción respecto á la orientación de la velocidad, atribuyendo al espacio, propiamente dicho, sus tres dimensiones, cuantos resultados hemos obtenido hasta aquí se generalizan sin dificultad, sin más que cambiar la nomenclatura de la geometría de tres dimensiones por la correspondiente á la de cuatro. Pero ello no agregaría un solo concepto nuevo.

\*  
\* \*

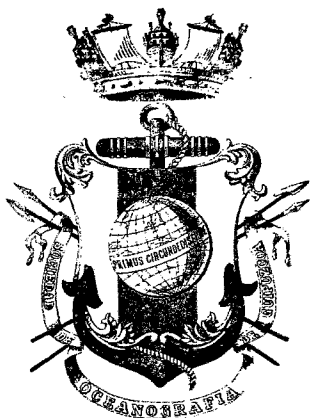
Hemos visto cómo una aparente contradicción entre dos hechos experimentales ha obligado á sustituir la noción simple del universo euclidiano de tres dimensiones, y del tiempo como magnitud absolutamente independiente del mismo, por un universo más amplio, en el cual el tiempo tiene el carácter de una nueva dimensión, pero dimensión *sui generis*, sin confusión posible con las otras tres, circunstancia

que determina el carácter no euclídeo de su geometría. Y no podía ser de otro modo, porque la diferencia esencial entre el tiempo y el espacio no es caprichosa, sino una imposición de la Naturaleza misma, ó, por lo menos, de la representación que de ella podemos formarnos.

Decíamos al empezar que la teoría de la relatividad constituye una confirmación concluyente de las ventajas que á las ciencias naturales reporta el encontrar una teoría matemática constituida, que sea aplicable á todo conjunto de hechos refractarios á los métodos clásicos, y no creemos necesario insistir en ello. Imaginemos que la posibilidad de las geometrías que no admiten los postulados de Euclides fuese ignorada actualmente por la matemática, y cuanto hemos dicho anteriormente aparecería como una serie de absurdos escalonados.

HE DICHO.

A.II. "LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD" (1921)



SOCIEDAD DE OCEANOGRAFÍA  
DE  
GUIPÚZCOA

CONFERENCIAS ORGANIZADAS  
en SAN SEBASTIAN

# La Teoría de la Relatividad

por

el Doctor D. Blas Cabrera

SEPTIEMBRE DE 1921

A.L. "LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD" (1921)

— 22 —

que determina el carácter no euclideo de su geometría. Y no podía ser de otro modo, porque la diferencia esencial entre el tiempo y el espacio no es caprichosa, sino una



Dr. D. Blas Cabrera

SEPTIEMBRE DE 1921





« La Teoría de la Relatividad »

# Conferencia del Doctor D. Blas Cabrera

Catedrático de la Universidad Central

SEÑORES:

Yo no conozco otro ejemplo en la historia de la Ciencia, de una teoría absolutamente desprovista de aplicación a la vida práctica, por lo menos en el porvenir al alcance de nuestra previsión, y que haya conmovido tan profundamente al vulgo como la que va a ocuparnos en esta tarde: la Teoría de la Relatividad.

Inmediatamente se ofrece a la meditación de cuantos gustan de inquirir el origen de los fenómenos de todo orden que a nuestro alrededor se producen, cuál pueda ser el motivo de tal privilegio. Estimo yo que en este caso no cabe dudar. La referida teoría tiene un carácter eminentemente filosófico, pues no se concreta a interpretar un determinado orden de fenómenos ignorando la mayor parte de los dominios de nuestro conocimiento, sino que trastorna los conceptos que parecían más firmemente cimentados. Y por eso la curiosidad que la teoría despertó va acompañada, al menos en los primeros momentos, de un fuerte sentimiento de incredulidad, que es a modo de defensa de nuestra organización intelectual contra la total ruina de su propia obra.

Las ideas, doctrinas y teorías que la humanidad va formulando para explicar la Naturaleza de que forma parte, en su fluir permanente a través de nuestra mente va dejando prendidas en la enmarañada estructura cerebral nociones que por haber pasado al dominio de lo inconsciente, parecen imponerse al Conocimiento con fuerza irresistible.

La importancia que tienen para el futuro avance de la Ciencia es tanto mayor cuanto que junto a ellas, y aparentemente en el mismo plano, existen también principios inmutables que al conocimiento impone la propia Naturaleza mediante la organización de nuestro órgano de conocer. Estos son los postulados esenciales de la Ciencia, la razón de la concordancia de sus construcciones con la realidad externa y de sus corolarios con los fenómenos observados. Aquellas otras nociones, sedimento de la civilización en el pensamiento, se manifiestan en la inercia intelectual que cierra el paso a toda concepción nueva.

Esta inercia es menor o mayor, según la consistencia del sedimento que la ha engendrado. Cuantos tengan el hábito de pensar sobre la razón de sus propias ideas hallarán en su experiencia abundantes ejemplos de su intervención, y aún de más abundante prueba disponen quienes desempeñan el magisterio en sus diferentes grados. Estos ejemplos sencillos y evidentes arrojan luz abundante sobre aquellos casos de mayor transcendencia señalables en la historia del pensamiento humano. Recordemos la oposición que hubo de encontrar la idea de la redondez de la Tierra. Señalemos también la lucha que el sencillo sistema del mundo de Copérnico hubo de sostener contra el complejo de Ptolomeo. Aún la misma teoría de la gravitación de Newton, fundamento de toda la Filosofía natural de nuestros días, hubo de luchar largos años contra las ideas de su época.

Y cuenta que los argumentos esgrimidos por quienes entonces fueron acusados de visionarios, o por lo menos desoidos por sus contemporáneos, no difieren frecuentemente de los que hoy se nos ofrecen con una fuerza dialéctica y una claridad que no dudamos en juzgar asequibles a las tiernas inteligencias de los niños.

Pues bien, señores, el momento que vivimos en la historia de la Ciencia es parejo de aquéllos que os citaba. El asombro e incredulidad con que las nuevas ideas de Einstein, el Copérnico y el Newton de nuestros días, han sido primero recibidas en los círculos científicos y más tarde entre el vulgo, producto son también de aquella inercia intelectual, del sedimento que fué depositando una cultura secular.

2. Si nos atenemos exclusivamente a los dictados de la observación más elemental y aún a las nociones que por ofrecerse con evidencia inmediata consideramos como imposición del sentido común, prescindiendo de la Ciencia elaborada por la humanidad, es notorio *el carácter*

## — 3 —

*relativo del movimiento.* Conocemos nuestros cambios de lugar por la variabilidad de las distancias a objetos que suponemos fijos: en esta sala, las paredes, el techo y el piso, por ejemplo. Probemos de imaginar que estamos absolutamente aislados en un espacio vacío. El movimiento es inconcebible. [Forzando la imaginación a representarlo, involuntariamente pensamos en algo fijo más o menos indefinido. El movimiento, pues, supone siempre un cuerpo o sistema de cuerpos de referencia.

Pero hay más contenido en este carácter relativo del movimiento; podemos conocer los cambios de lugar de un cuerpo respecto de los que sirven de referencia, pero no es posible distinguir en qué proporción participan en la responsabilidad de este cambio el uno y los otros. Cuantos me escuchan habrán tenido ocasión de percibir la dificultad casi absoluta de saber qué tren se pone en movimiento cuando hallándonos en el interior de uno fijamos la atención en los objetos contenidos en el otro, prescindiendo del paisaje general exterior a ambos.

Y así se explica cómo Ptolomeo, y hasta el propio Tycho Brahe posteriormente a la exposición del sistema del mundo de Copérnico, fueron capaces de interpretar los diversos aspectos de la bóveda celeste imaginando nuestro pobre planeta centro del mundo. Porque, sin duda alguna, mientras se atiende sólo a estos cambios de aspecto, sin paramientos en razones de sencillez, ambas doctrinas son equivalentes.

3. Analicemos ahora hasta qué punto se conforma con este principio de relatividad del movimiento la Ciencia de la naturaleza que el hombre ha ido elaborando por la observación atenta de los fenómenos que atraen su atención. Conviene a estos efectos clasificar sus capítulos en orden de complejidad creciente.

El primero es la Geometría experimental, que estudia las relaciones de posición de los objetos que nos rodean. Esta Geometría, que es la que aplica el agrimensor, el topógrafo, el arquitecto, el constructor de toda especie, no ha de confundirse con aquella ciencia matemática que lleva el mismo nombre y que forma parte de la enseñanza más elemental. Esta otra ciencia eminentemente lógica es, como todas las matemáticas, una construcción de nuestro espíritu. Sin duda nació como consecuencia de la aplicación de la actividad del espíritu a aquella otra Geometría experimental, pero pronto la excedió adquiriendo el carácter

de mera ciencia racional y como tal libre de toda exigencia de inmediata adecuación de sus proposiciones con la Naturaleza.

Para llevar el convencimiento al ánimo de los que duden de esta separación esencial de ambas Geometrías, basta que recuerde que no existe una Geometría racional única. Se han construido varias con todas las garantías que la matemática exige, que no son aspectos diferentes de una ciencia única sino que contienen proposiciones absolutamente antitéticas. En cambio la Geometría experimental, como conjunto de relaciones que en la Naturaleza se dan entre las posiciones y magnitudes de sus diferentes elementos, es notorio que ha de ser única, puesto que aquélla es incompatible con toda indeterminación: es como es y no puede ser de varios modos al mismo tiempo. La incertidumbre y la duda es patrimonio de nuestro espíritu.

Imaginad que trazamos una circunferencia y uno de sus diámetros. La relación de las longitudes de ambas líneas es esencialmente única y la obtendremos midiendo directamente y hallando el cociente de los números encontrados. Mas dicha circunferencia es un objeto matemáticamente definido, como lo es también el diámetro, y partiendo de estas definiciones la Geometría racional deduce el valor de aquella relación, el cual cambia con los postulados fundamentales de la Ciencia. Si nos atenemos a los que sirvieron a Euclides para construir el soberbio edificio lógico que aún se nos inculca en los primeros grados de la enseñanza, se obtiene el famoso número  $\pi$ , que todos conocéis y que ha servido de materia en qué ejercitar su ironía los espíritus sensibles al aspecto cómico de la vida, al propio tiempo que ha dado tema a los temperamentos afectos al trabajo minucioso para la ocupación de sus actividades añadiendo algunas cifras más a su valor numérico, hasta el extremo de que hoy puedan escribirse algunos centenares de ellas.

Pero aquellos postulados de Euclides pueden alterarse y entonces la relación de las longitudes de la circunferencia y el diámetro resulta mayor o menor que  $\pi$ , según el sentido en que se haga la referida alteración.

Diréis: puesto que se trata aquí de un hecho real que podemos conocer experimentalmente, tendremos modo de escoger entre aquellas geometrías lógicamente posibles, la única que se ajuste a la Naturaleza. Efectivamente es éste el camino seguido en todos los capítulos

de la Filosofía natural, que nunca se construyen utilizando exclusivamente materiales aportados por la observación y la experiencia, sino que a modo de liga que los unifica en un cuerpo de doctrina utiliza postulados que son siempre producto del conocimiento anterior, adquirido de modo más o menos consciente.

Pero la realización práctica de esta idea tropieza con dificultades que en general rebasan nuestras posibilidades. La medida de aquellas longitudes no puede ejecutarse exactamente. Lleva aparejados errores más o menos grandes que engendran una incertidumbre en el valor experimental de la relación que nos ocupa, dentro de cuyos límites puede hallarse la solución del problema. Por eso los intentos realizados en la época en que la posibilidad de estas diferentes geometrías no euclídeas se reconoció fracasaron, y desprovistos de todo medio de elección segura, nos hemos dejado guiar por la comodidad, admitiendo que la Naturaleza se rige por la Geometría de Euclides. Para el hombre de ciencia consciente, sobre todo en aquella época en que se pensó en la posible resolución experimental del problema, la hipótesis tiene carácter provisional; para el vulgo, en el cual incluyo a la mayoría de los cultivadores de la ciencia positiva, adquirió la categoría de verdad incuestionable. Pronto veremos que se halla aquí una de las raíces de la incomprensión de la nueva Ciencia de Einstein.

4. Siguiendo la enumeración de los capítulos de la Filosofía natural, tras de la Geometría debe colocarse la Cinemática, ciencia en la cual al elemento geométrico de posición se agrega el tiempo. En efecto, la Cinemática estudia cómo cambian con el tiempo las configuraciones geométricas que los objetos nos ofrecen. En otros términos, estudia el movimiento en sí mismo independientemente de sus causas y sus efectos. El tiempo que aquí aparece por primera vez como variable que define un fenómeno físico, es la proyección fuera de nuestra conciencia de aquella noción que se ofrece con absoluta claridad al espíritu y nos permite distinguir lo que fué *antes*, de lo que es *ahora* y de lo que será *después*. Y además esta proyección al exterior se hace del modo más sencillo posible, como si lo que es ahora para mí lo fuese para todos vosotros, y no sólo para vosotros sino para todo el género humano, y aun para cualesquiera otros seres conscientes que habiten fuera de nuestro planeta, en el propio sistema estelar que nosotros o en regiones de tal modo alejadas que no alcanzamos a percibir los

mensajes de su existencia contenidos en la luz de sus soles. Dicho de otro modo, el tiempo de la Cinemática clásica es absolutamente independiente del espacio, de suerte que en esta ciencia tiene sentido afirmar la simultaneidad de dos sucesos con independencia del lugar en que cada uno se produce y de quien los contempla afirmando el *ahora* que traduce el momento en que ambos ocurren.

Bien entendido, nosotros solo tenemos noticia de los fenómenos del mundo exterior gracias a los mensajes que de ellos recibimos, y esto nos obliga a corregir el instante de la percepción por el tiempo invertido por el mensajero. Esto es aplicable lo mismo al caso en que la noticia nos llega por un trasmisor material, que cuando los hechos se denuncian directamente a nuestra vista. En este caso el mensajero es la propia onda luminosa, cuya enorme velocidad (300.000 kms. s.) hace despreciable la corrección para el mundo que inmediatamente nos envuelve. Pero el caso es muy otro para las distancias estelares. Esas estrellas nuevas que frecuentemente descubren los astrónomos, testimonio apenas perceptible de lejanos cataclismos cuya magnitud escapa a la imaginación más poderosa, no son de *ahora*; ocurrieron las más de las veces muchos años atrás, centenares, millares, quizá centenares de millares de años atrás.

Lo mismo la Geometría que la Cinemática, en la forma en que hubieron de elaborarla las generaciones de hombres de ciencia que nos precedieron, satisfacen plenamente a aquella relatividad del movimiento de que me ocupé antes.

5. Las cosas empiezan a cambiar cuando pasamos al capítulo de la Filosofía natural que sigue a la Cinemática en orden de complejidad. Me refiero a la Mecánica. Su objeto inmediato es también el movimiento, pero lo analiza en sus causas y sus efectos, haciendo intervenir a más de las posiciones de los objetos y los tiempos, las *fuerzas* y las *masas*. Las primeras son el agente externo que provoca el movimiento y la construcción de tal concepto se ha hecho tomando por modelo la sensación muscular del esfuerzo. La masa mide la resistencia interna que los cuerpos ofrecen al cambio de su estado dinámico.

Como la Geometría y la propia Cinemática, la Mecánica se apoya en un cierto número de postulados, como siempre enunciado breve

— 7 —

de la interpretación que nos parece más plausible para los hechos denunciados por la observación. El primero consiste en afirmar que un cuerpo puesto en movimiento y después abandonado, sin que sobre él se ejerza acción alguna, conserva eternamente la misma velocidad y dirección constante. Imaginad una bala de cañón lanzada en el espacio. Si no existiese la gravedad que tiende a hacerla caer, encorvando su trayectoria, ni el rozamiento con el aire, que disminuye su velocidad, cruzaría el espacio siguiendo una recta y se alejaría de nosotros eternamente, salvo el caso de que algún día pasara junto a un astro que por su atracción la desvíe de su carrera, o por un choque la detenga definitivamente.

Cuantos ejemplos pudiéramos idear para poner en evidencia un caso directo de movimiento uniforme y rectilíneo, son del mismo tipo que el de la bala de cañón. En ningún caso hallamos realizado el movimiento en cuestión. Siempre necesitamos realizar una abstracción, eliminando una influencia a que atribuimos la curvatura de la trayectoria o el cambio en el valor de la velocidad. Esta influencia es precisamente la fuerza a que antes me refería, y su existencia es unas veces evidente pero otras la suponemos forzados por el referido postulado de inercia. Imaginad una superficie cóncava perfectamente lisa, a manera de una taza de dimensiones un tanto exageradas. Una bola lanzada en ella no recorrerá una línea recta sino que describirá una trayectoria curva, forzada por la resistencia de la superficie en cuestión: esta resistencia es la fuerza que la Mecánica exige para explicar la curvatura del movimiento. Pero también los planetas y la propia bola describen trayectorias curvilíneas, sin que aparentemente se oponga ningún obstáculo al movimiento, y para conservar la verdad del postulado que recordaba antes, Newton inventa la atracción universal dotándola de los caracteres imprescindibles para la finalidad perseguida. Y fué tal el acierto, que gracias a ella lo que hasta entonces parecía complejo baile de los cuerpos celestes, se trocó en vida armónica y sencilla de elementos materiales enlazados por ese algo casi espiritual que se llamó gravitación. Los menores detalles de esa inmensa danza encuentran interpretación tan acabada que pueden predecirse el aspecto que ofrecerán los cielos con años y aún siglos de antelación, y también sería dable, si fuese útil, reproducir las apariencias de las noches que contemplaron nuestros antepasados.

Es necesario trasladarse a la época anterior a Newton y compararla con la actual para comprender el culto que las doctrinas de este hombre cúspide del género humano ha merecido y merece de parte de las generaciones que le han seguido. Durante más de dos siglos la inteligencia humana ha gravitado alrededor de este astro central, y hoy, cuando salimos de su esfera de acción arrastrados por otra mente ni más ni menos poderosa que la suya, pero que ha tenido la ventaja de venir después, nos parece más grande porque caemos en la cuenta de que no fué un descubridor sino un inventor: que no encontró sino que creó.

Digamos, sin embargo, que aquella maravillosa ciencia de Newton dejó fuera de sus mallas algunos hechos, muy cortos en número y pequeños en importancia, que resistieron a todos los esfuerzos para someterles a ella. El más notable es un ligero movimiento del planeta menor de nuestro sistema y más próximo al sol: Mercurio; movimiento tan insignificante que apenas da una discordancia de  $43''$  por siglo entre la dirección teórica de un anteojo que haya de apuntar a él y la que realmente debe adoptar;  $43''$  que en un círculo de un metro de diámetro apenas supondría una décima de milímetro, pero que excede con mucho al error que la Astronomía actual tolera. Nadie pudo pensar que esta pequeñísima discordancia obligara a cambiar toda la orientación de nuestra ciencia.

Volviendo a la relatividad del movimiento, la Mecánica clásica se muestra de acuerdo con ella cuando nos limitamos a considerar el caso sencillo en que aquél es uniforme. Decía poco antes que si nos hallamos en un tren que se desliza suavemente sobre los raíles necesitamos referirnos a objetos externos para apreciar el movimiento, y aún por este medio sólo logramos conocer su movimiento relativo sin que sea dable afirmar de un modo inmediato si son los objetos de referencia quienes se hallan en reposo, o por el contrario lo es el propio tren. Cuando existe una experiencia anterior de la cual se deriva un dato cierto respecto a aquellos objetos, como cuando son los árboles del campo, no dudamos en atribuir el movimiento al tren, pero si la experiencia no nos auxilia, como en el caso en que se fije la atención en otro tren que pase a nuestro lado, no podemos resolvernos con garantía de certidumbre. En la hipótesis de que las referencias externas falten en absoluto, por estar el tren completamente cerrado,



la ignorancia del propio movimiento es total, pues no existe ningún fenómeno que mediante experimentos realizados en el interior, permita distinguir el reposo del movimiento uniforme y rectilíneo.

Otra cosa ocurre cuando no se trata de esta especie particular de movimiento. Lo mismo en el caso de uno acelerado, que cuando es la dirección del movimiento lo único que cambia; un observador encerrado en un vagón con todos los elementos necesarios para realizar experimentos apropiados de Mecánica, es capaz de darse cuenta de aquella variabilidad de valor o dirección de la velocidad. Así al menos lo afirma el capítulo de la ciencia a que vengo refiriéndome, y así parece resultar de los experimentos que pueden realizarse para comprobación de las leyes que en él se formulan. Que cuando un tren toma una curva con cierta rapidez, sentimos en nuestro cuerpo los efectos de una fuerza que tiende a lanzarnos hacia el exterior de ella; que en el momento de pararse algo bruscamente, o de comenzar el movimiento con excesiva rapidez, somos arrojados hacia adelante o hacia atrás, son todos hechos que la más burda observación denuncia. La duda pudiera surgir cuando nos referimos a cambios más suaves o más lentos que por razones diversas escapan la percepción directa, pero entonces puede acudir a métodos físicos que hacen sensibles sus efectos. Célebre es en la historia de la Ciencia el experimento realizado por Foucault bajo la cúpula del Conservatorio de Artes e Industrias de París para denunciar, mediante el péndulo, la rotación de la Tierra: Si se hace oscilar un cuerpo pesado suspendido por un hilo el plano de oscilación, en virtud del movimiento aludido de la Tierra, gira alrededor de la vertical con rapidez que depende tanto de la rotación de nuestro planeta como del lugar en que el experimento se realice.

No es ésta la única manera de denunciar los movimientos que no son rectilíneos y uniformes, pero en todo caso basta para comprender que la Mecánica inventada por Newton, y que con tan admirable precisión interpreta los movimientos de los astros, sólo satisface a aquel principio de relatividad de que hube de ocuparme al comenzar esta conferencia, y que parece una verdad de sentido común, en aquella especie particularísima de movimiento.

6. Pero cuando de la Mecánica pasamos a la Física, construída toda ella utilizando los métodos de la propia Mecánica, podría decirse

que procurando fundirse en ella, reducir todos los fenómenos a apariencias externas de sistemas mecánicos cuyos movimientos particulares escapaban a nuestra perspicacia; en esta Ciencia que tantos días de gloria y tantos otros de luto ha propinado a la Humanidad, que nos ha rodeado de comodidades, que ha suprimido prácticamente las distancias, que hasta parece querer darnos la ilusión de un contacto con los seres queridos más allá de su existencia, que poco a poco va reduciendo las exigencias de la vida respecto de la fortaleza del cuerpo, mientras perfecciona insensiblemente las partes más nobles de nuestro organismo. Esta Ciencia, la garantía de cuyo ajuste con la realidad del mundo exterior parece asegurada por los mismos éxitos que acabo de enumerar, es absolutamente incompatible con la relatividad del movimiento, aun en el caso particularísimo en que éste es uniforme. Sus leyes parecen consentir, y esto de varias maneras, que se descubra un movimiento común a todo lo que nos rodea en un sentido cualquiera del espacio. Permitidme pasar en silencio el cómo, porque el tiempo falta para descender a estos detalles.

Esta oposición radical con aquél que decía antes dictado del sentido común, no pasó ignorado por los hombres de ciencia. Pero era la época del desprestigio más absoluto de la Filosofía, y los físicos se hallaban sobrado orgullosos del edificio por ellos levantado, que permitía un dominio casi absoluto de la Naturaleza, para renunciar a él por motivos al parecer tan insignificantes. Fué menester el choque brutal contra la realidad para despertarles de su sueño. Y este choque vino como una consecuencia lógica del interés que tiene conocer nuestro movimiento absoluto en el espacio, la posibilidad de cuya determinación se afirmaba por la ciencia.

El intento se hizo procurando reunir las mayores garantías para el éxito; pero no vino. Y se volvió con insistencia al propio objeto, utilizando variados métodos y procurando evitar las causas de error presumibles: todo en vano. Sin embargo, no se pensaba por la mayoría de los hombres de ciencia que esto obligara a modificar profundamente el edificio cuyos cimientos pusieron Galileo y Newton y cuya construcción era secular. Todo lo más se permitían retoques en las últimas hileras de ladrillos por ellos mismos aportados. Otra cosa hubiese parecido sacrilegio imperdonable y presuntuosa ridiculez.

Fué en aquellos momentos cuando un joven recién salido de las

## — II —

aulas, que apenas si contaba los veinte y cinco años de edad, produjo el escándalo del mundo sabio, atacando aquellos cimientos y descubriendo en ellos el origen del mal. Einstein afirmó que la Física, tanto como la Mecánica, habría de ser incapaz de denunciar un movimiento uniforme de todo el Universo. Si otra cosa parecía deducirse de sus teoremas en la forma clásica de aquella ciencia, era porque se había construido admitiendo nociones sin fundamento en la realidad. por ende perfectamente gratuitas.

Se trataba no menos que de la noción del tiempo, que según dije antes, había entrado en el campo de la ciencia por una simple proyección fuera de nuestra conciencia del sentimiento íntimo que nos permite distinguir el *antes*, del *ahora* y del *después*. Es este modo de construir el tiempo universal lo que resulta demasiado simplista. Dije antes que por este camino se llega a adquirir el concepto de simultaneidad, afirmando que sucesos para nosotros ocurridos al mismo tiempo también gozan de esta condición para cualquier otro observador. Hemos de renunciar a tal concepto: dos sucesos, A y B, que un observador considera simultáneos lo serán también para cuantos se hallen en reposo relativamente a él, pero no para quienes estén en movimiento. Según sea éste podrá hasta alterarse el orden en que aparezcan producidos: el A antes del B, o el B antes del A.

A primera vista puede chocar esta afirmación, pero si paramos mientes en ella, nada tiene de extraordinaria. Supongamos una persona sin cultura científica especial que en una noche serena mire las estrellas. Seguramente no dudará de que los múltiples astros que tachonan la bóveda celeste los contempla en el *ahora* de su existencia. Sin embargo, es indudable que no es así, y ya lo decía antes. Lo que vemos de cada estrella es un momento de su pasado, momento que para los astros de nuestro sistema planetario apenas se separa en unos segundos o minutos de su *ahora*, que para las estrellas más cercanas es ya de algunos años atrás, y que llega a ser de centenares, de millares y aún de centenares de millares de años cuando nos referimos a conjuntos estelares que son sistemas comparables a la Vía láctea. Así, el ahora en la misma ciencia clásica no es un dato inmediato que la Naturaleza nos ofrece, hemos de construirlo corrigiendo los resultados directos de la observación y a nadie puede repugnar que la forma en que esta corrección se ha hecho hasta hoy no sea exacta.

Sin embargo, son indispensables ciertos requisitos para que nos avengamos a modificar lo que tenemos por bueno, y lo único discutible será hasta dónde pueda llegarse con estas exigencias. En primer término es notorio que la ciencia clásica nos dió una imagen de la Naturaleza que por mucho tiempo no chocó con ningún obstáculo, y, ciertamente, es inaceptable que esta imagen se retoque alterándola en proporción apreciable por sus propios medios. Pero es que la ciencia opuesta por Einstein a aquélla no tiene semejante pretensión: sus leyes son idénticas a las que ella formuló mientras la sensibilidad de los medios de observación no rebasen ciertos límites. Es al traspasarlos cuando la ciencia clásica fracasa mientras la Física de Einstein logra mantenerse en contacto con la realidad.

El panorama que San Sebastián y sus contornos ofrece a nuestros ojos puede ser representando en un croquis a mano alzada, o por un topógrafo que utilice los métodos corrientes para el levantamiento de planos, o mediante los nuevos procedimientos de la estereofotogrametría. Para que podamos orientarnos en el campo bastará el croquis; si es necesario formular el proyecto de una carretera o de una vía férrea, el plano topográfico es indispensable; para obras de más empeño la estereofotogrametría se impone. De un modo semejante el conocimiento de la Naturaleza puede obtenerse con diversos grados de aproximación. En este sentido se podrá decir que la imagen construída por la ciencia clásica es el croquis del Universo; aquella otra de Einstein a que vengo refiriéndome es su plano topográfico. El estereofotogramétrico corresponde a otro paso más avanzado de que me ocuparé en seguida.

Dicho se está que modificada la noción de tiempo, con ella se alterará el edificio de nuestros conocimientos desde el punto y hora en que ella interviene, y así la propia Cinemática, que decía antes no contradice el principio de relatividad del movimiento, sufre los efectos de esta revolución intelectual. Y no sólo en atención a que nos veamos obligados a renunciar a la noción de simultaneidad, sino porque también la rigidez de los cuerpos que en ella se supone es ahora insostenible. En la nueva Cinemática no se puede admitir, como en la clásica, que durante el movimiento las dimensiones y figuras de los cuerpos sean las mismas que en el reposo; mejor diría, que dichas condiciones sean idénticas para dos observadores uno de los cuales perma-

nece en reposo respecto del cuerpo mientras el otro se halla dotado de un movimiento rectilíneo y uniforme. Para éste último aparece aplastado en el sentido del movimiento, y tanto más cuanto mayor la velocidad. En tanto ésta no rebasa con mucho los límites que puede alcanzar la técnica moderna, incluyendo el caso de una bala lanzada por una poderosa arma de fuego, y aún en los movimientos planetarios, particularmente interesantes en atención al orden de magnitud mucho más grande de las velocidades correspondientes y la mayor precisión con que se pueden determinar; en todos estos casos, que son los únicos conocidos por la Mecánica clásica, el aplastamiento indicado es insensible. Pero si el movimiento es más rápido, alcanzando el orden de las centenas de miles de kilómetros por segundo, como ocurre con las partículas que forman los rayos catódicos, los  $\gamma$  y aún en la rotación de los electrones alrededor del núcleo de los átomos, el fenómeno en cuestión es notable y sus consecuencias directamente asequibles a la observación. En la hipótesis de que la velocidad alcanzara el valor que corresponde a la propagación de la luz, los cuerpos aparecerían reducidos en un plano normal al movimiento, y todo valor numérico superior es inadmisibles porque aquellas dimensiones habrían de reducirse por bajo de cero, cosa imposible.

Y así podría continuar señalando corolarios que producen extrañeza a mentes educadas por la ciencia anterior a Einstein y que la nueva da como realidades incuestionables, además de acuerdo con la experiencia que repetidamente las ha ido confirmando. Quienes las acojan con incredulidad conviene que sepan que no han sido los primeros en experimentar tal sentimiento. Los miembros de la Sociedad suiza de Física, ante los cuales Einstein dió la primera noticia de su obra y más tarde los lectores de las revistas en que fué publicada, acogieron con escándalo aquella doctrina; escándalo revelado unas veces por el silencio, otras por la refutación, algunas por un cierto despego que ignoraba su importancia real para reducirla a un simple artificio imaginativo. Pero poco a poco fué apagándose la oposición, porque era un simple efecto de la inercia intelectual de que antes hablaba.

7. Decía que esta modificación que Einstein introdujo en la Ciencia, no obstante la revolución que provocó en ella, sólo restablecía la relatividad del movimiento para el caso en que éste es uniforme

y rectilíneo. Para la nueva Mecánica, como para la clásica, era posible denunciar una aceleración o un cambio de dirección del movimiento. Mejor dicho, esta aceleración se atribuía siempre a fuerzas reales que sobre los cuerpos actúan, y por este camino Newton creyó descubrir la atracción universal que dota a la materia de un poder sin límites en el espacio para retener y traer hacia sí cuerpos alejados de ella. Einstein no podía conformarse con estas concepciones en manifiesta oposición con los dictados de un principio tan evidente cuando se le considera directamente, como es aquella imposibilidad de conocer el movimiento sin atender a referencias externas. Algunos años invirtió su mente en encontrar una solución completa a la dificultad pero al fin, en 1915, da forma a una nueva teoría en que con absoluta generalidad afirma la exactitud de aquel principio y por este camino obtiene la interpretación de los fenómenos gravitatorios que habían resistido a toda explicación, pues la atracción universal de Newton no tuvo para su autor, ni puede tener a los ojos de una crítica justa, más valor que el de un expediente para poder aplicar al estudio de dichos fenómenos los métodos de la Mecánica.

Decía antes que una bola que se mueve en una superficie cóncava describe una curva, obligada por la forma de aquella, aunque no exista una acción directa que en ella se ejerza. Los planetas de nuestro sistema también recorren órbitas curvas, y la teoría de Einstein afirma que el origen de las mismas es un encorvamiento del espacio debido a la presencia del Sol, y no una atracción directa.

La curvatura del espacio: he aquí una noción que produjo en el ánimo de los hombres de ciencia una impresión no menos violenta que la negación de la simultaneidad, corolario de la primera teoría del propio Einstein. Hemos ciertamente de convenir que la clara comprensión del significado de la curvatura del espacio no es sencilla, sin duda porque la imaginación puede ayudarnos poco en esta tarea. Para aproximarnos a ella analicemos las concepciones de un ser ideal dotado de una inteligencia tan poderosa como la nuestra, pero incapaz de comprender lo que para nosotros es arriba y abajo. Distinguirá lo que está delante de lo que se halla detrás, su derecha de su izquierda, pero en cambio carecerá de sentido para él toda afirmación que se refiera a la tercera dimensión de nuestro espacio.

Este ser, al cual llamaré en adelante *homóide*, le supondremos vi-

— 15 —

viendo en la superficie de una bola de grandes dimensiones comparadas con las suyas propias. Si traza una pequeña circunferencia en la indicada superficie, que es su espacio, encerrará una porción de él tan herméticamente como en el nuestro lo hace una esfera: para pasar de un punto del círculo al exterior nuestro homoide se verá obligado a cortar la circunferencia, como nosotros tendríamos que atravesar la superficie de la esfera.

Los problemas de agrimensura y topografía que su mundo le ofrecería le darían los elementos para la construcción de una Geometría, siguiendo un proceso equivalente al del nacimiento de nuestra ciencia del mismo nombre. También él se encontraría con la dificultad de elegir entre las diversas Geometrías racionales posibles aquella que se ajuste mejor a su mundo. Mientras los problemas que ha de resolver se concreten a una región pequeña, la comodidad le llevará a escoger aquella para la cual se obtiene el número  $\pi$  como relación de la circunferencia al diámetro, pero en cuanto se vea obligado a abordar una porción grande de su mundo, el valor experimental de aquella relación será menor que dicho número.

Para nosotros no existe nada de extraño en el resultado precedente, pues nos damos clara cuenta de que la línea medida por el homoide, considerándola diámetro de la circunferencia, es el arco o círculo máximo que une un punto de la misma con su polo sobre la esfera que constituye el espacio del homoide. El verdadero diámetro escapa a su conocimiento por caer fuera de dicho espacio. Por eso se vería obligado a elegir uno de los dos caminos siguientes para salvar la dificultad que le plantea aquel problema. O desecha la Geometría de Euclides y adopta otra adecuada al resultado de sus medidas, o razona como nosotros lo hacemos frente a sus experimentos, tratando su mundo como una superficie curva, aunque sea incapaz de representarse dicha curvatura.

Precisamente ese es nuestro caso ante la teoría de la Gravitación de Einstein. Podríamos renunciar al concepto de curvatura del espacio prescindiendo de la Geometría de Einstein como expresión de las relaciones métricas entre los elementos de las figuras que en él se dibujan, pero la dificultad que así eliminamos se nos presentaría de otras varias maneras dejándonos no menos perplejos. En apoyo del procedimiento adoptado se puede argüir con la posibilidad que nos

ofrece de recurrir a nuestro homoide para socorrer a la inteligencia construyendo pseudo imágenes del espacio cuadridimensional.

La primera consecuencia importante que se deriva de esta concepción de Einstein es la solución de un problema que ha preocupado al hombre desde que ha sido capaz de lanzar su inteligencia más allá de las cuestiones que afectan a su conservación. ¿El mundo es infinito o tiene límites? Si marcháramos a través del espacio rectilíneamente ¿nos veríamos algún día detenidos por una barrera infranqueable o avanzaríamos eternamente? Este problema insoluble para las viejas doctrinas acerca del Universo tiene ahora solución completa y satisfactoria. Vengamos nuevamente a nuestro homoide. Imaginémosle avanzando siempre en la misma dirección sobre su esfera. Nunca se encontraría detenido y, sin embargo, volvería a su punto de partida sin haber cambiado la dirección de su movimiento. Otro tanto nos pasaría a nosotros.

En vez de un viajero cualquiera, consideremos los rayos de luz que parten de nuestro Sol y en línea recta parecen alejarse de él. Después de un tiempo muy largo se encontrarán nuevamente en otro lugar que viene a ser algo así como el de sus antípodas respecto del Universo entero. Este actúa a manera de poderosa lente convergente que da del sol, y de todos los astros, una imagen real que no sabríamos distinguir de los propios objetos. Así, gran parte de las estrellas que vemos en los cielos podrían reducirse a estas imágenes. Sin embargo, para ello sería menester que los espacios interestelares estuviesen tan vacíos que la luz pudiese marchar sin obstáculos que difundan su energía, mientras desde muy diversos puntos de vista se llega a deducir que esta difusión existe realmente y en grado tal que la energía que puede acumularse en el antisol es totalmente despreciable.

Conviene advertir que el tamaño de nuestro Universo esférico, la magnitud análoga a la longitud de una circunferencia máxima en el mundo esférico del homoide, es tal, que la luz tarda en llegar desde el Sol a su imagen algunas docenas de millones de años, no obstante la enorme velocidad de 300.000 kms. por segundo con que marcha. El proyectil de Julio Verne, lanzado para recorrer aquella línea a razón de 1.000 kms. por segundo, a la manera como podría hacerlo el homoide en la esfera que forma su espacio, volvería a su punto de partida después de 100 mil millones de años, y a su nuevo encuentro



— 17 —

con el planeta que habitamos le hallaría seguramente convertido en un frío cementerio de donde todo vestigio de vida habría desaparecido mucho tiempo atrás, si es que el propio sistema solar no parece antes víctima de una de esas catástrofes que de vez en cuando contemplamos en los cielos.

Pero diréis, todo es pura fantasía, ¿cuáles son los firmes apoyos que pueden servir de arranque a la imaginación para vuelos tan enormes?

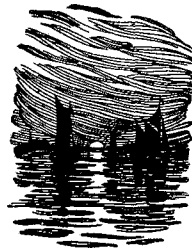
Recordaréis aquel símil que os ofrecía de la ciencia clásica y la primera creación de Einstein comparándolas al croquis y al plano topográfico de San Sebastián. Os decía entonces que existe una mayor aproximación al conocimiento de la realidad que la ofrecida por aquellas dos construcciones intelectuales, y que viene a corresponder al plano estereofotogramétrico. Tal aproximación es la que suministra la nueva teoría de Einstein fundada en el principio general de relatividad. Ella coincide con las dos ciencias mencionadas en los casos en que ellas bastan, como ocurre al plano estereofotogramétrico respecto del topográfico y el croquis. Pero existen detalles que escapan a aquellas y que la nueva teoría interpreta también.

Ya hablé de un movimiento residual de Mercurio que la teoría de Newton no explica, ni aun auxiliada por el principio restringido de relatividad; en cambio, las nuevas ideas de Einstein lo interpretan con toda precisión sin que en ningún momento de su desarrollo se haya buscado una adaptación de las hipótesis a este fin. También Einstein predijo un ligero encorvamiento de los rayos luminosos cuando pasan por las proximidades de las grandes masas atrayentes; lo que vulgarmente se ha llamado el peso de la luz, y las observaciones realizadas durante el eclipse total de Sol de 1919 lo confirmaron plenamente. Sólo podemos agregar a estos hechos un ligerísimo corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo, cuando proceden de astros de masa elevada. Parecen pocas pruebas, pero es que nos movemos en los límites del conocimiento humano.

Y ahora quizá preguntéis: ¿hemos llegado al último ímite de aproximación a la imagen que la mente puede formar de la Naturaleza? Daríamos prueba de soberbia imperdonable si lo supusiéramos. Pero es que además, apenas consolidada la nueva conquista, cuando aún no se han apagado los fuegos de la oposición que la inercia inte-

lectual ofrece a las nuevas ideas, pueden señalarse importantes generalizaciones de las mismas que nos conducen a una visión acaso más perfecta de la realidad. Me refiero a las concepciones de Weyl y aún de Eddington, cuyo valor comparado con las propias de Einstein se ha de juzgar desde un punto de vista que afecta sólo a la teoría del conocimiento, pues hoy por hoy no pueden hallarse diferencias que sean sometibles a la contrastación experimental. En otro tiempo esa sola circunstancia hubiera bastado para que la discusión se rechazase fuera de los dominios de la Ciencia positiva, pero en el momento actual, en igual proporción que ésta ha mejorado su propia estructuración lógica, ha crecido su respeto por la Filosofía, en aquel capítulo en que ésta estudia el valor de las elaboraciones de nuestra mente.

HE DICHO



A.III. "PRÓLOGO" DE *PRINCIPIO DE RELATIVIDAD* (1923)

# PRINCIPIO DE RELATIVIDAD

SUS FUNDAMENTOS EXPERIMENTALES Y FILOSÓFICOS  
Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA

POR

BLAS CABRERA



PUBLICACIONES DE LA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES

SERIE I.—VOL. 7

MADRID

1923

Es propiedad. Queda hecho  
el depósito que marca la ley.

**Imprenta Clásica Española, Glorieta de la Iglesia. Madrid.**

## PRÓLOGO

ESTE libro recoge el contenido esencial de varias Conferencias dadas por el autor en el Ateneo de Madrid, la Sociedad Científica Argentina, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Córdoba (República Argentina), y, por último, en forma casi idéntica al contenido de las siguientes páginas, en la Facultad de Ciencias, de Madrid. Perseguía en todas ellas probar que no existe nada en las Ciencias positivas que esté en oposición con el principio de relatividad, tanto en su forma restringida como en la general; y bastante que obliga a convertirle en postulado necesario de la Filosofía natural. El origen del recelo que todos hemos sentido al primer contacto con la Ciencia que este principio ha creado, y que algunos conservan a pesar de los esfuerzos dedicados por muchos hombres de ciencia a combatir tal estado de espíritu, estriba en confundir con imposiciones de la razón, o también con verdades adquiridas por la observación y la experiencia, nociones elaboradas por nuestra mente partiendo de postulados que las más de las veces han penetrado subrepticamente en la Ciencia.

No es nuevo el hecho, siquiera nunca haya sido de resonancia comparable. Los primeros pasos de toda nueva teoría provocan siempre

resistencia equivalente de parte de quienes han formado su espíritu bajo la tutela de las ideas que se pretende derrocar. Es el resultado de una ley general del conocimiento que bien puede llamarse de *inercia intelectual*, pues expresa la tendencia a conservar el sentido de su evolución, a la manera como la inercia de la materia se manifiesta por la persistencia en la dirección y celeridad del movimiento de los cuerpos.

Cuantos poseen ya un poco de experiencia de estudio de las Ciencias naturales, podrán, seguramente, recordar en la historia de su pensamiento con cuánto despegó hemos acogido inicialmente teorías nuevas que más tarde se nos han impuesto.

Y lo que ocurre en nuestro mundo interior, es también exacto para la vida colectiva. Basta pasar rápida revista a la historia de las teorías que hoy consideramos indiscutibles: las mismas que esgrimimos contra las nuevas ideas, para caer en la cuenta de que no parecieron tan evidentes a los contemporáneos de su nacimiento. La propia interpretación dada por Newton a los fenómenos gravitatorios, que consideran incuestionable los defensores de la Ciencia clásica, fué en los días del sabio inglés motivo de no pocas discusiones, cuyos ecos se fueron debilitando lentamente mientras la referida teoría se enseñoreaba del mundo científico, hasta olvidar la prudente actitud de su autor respecto del valor filosófico de la atracción universal, que consideró simple medio de imitar los fenómenos que la Naturaleza ofrece, en tanto sus discipu-

## PRÓLOGO

11

los inmediatos, y la mayoría de los hombres de ciencia del pasado siglo, la confundieron con la realidad misma.

En aquella época, como ahora, autoridades indiscutibles del saber, como el propio Huyghens, y aun más tarde Juan Bernoulli, rechazaron de plano aquella atracción, al menos como principio fundamental; y es interesante notar que la base de toda la argumentación es la repugnancia hacia las acciones a distancia, que también ha sido instigadora del pensamiento de Einstein en la investigación que le condujo a su teoría de la gravitación. Precisamente su mayor mérito estriba en lograr la plena satisfacción de esta necesidad del espíritu sin renunciar a ninguna de las conquistas que la obra de Newton y sus continuadores ha proporcionado a la Filosofía natural.

Cierto que ha sido necesario el cruento sacrificio de ideas que se estimaban verdades axiomáticas; pero un análisis minucioso de cada una de ellas, lleva al ánimo el convencimiento de que se trata de construcciones gratuitas de nuestra mente por extrapolación indebida de ciertos resultados experimentales. Sin embargo, abundan los casos en que la firmeza de aquellas ideas es bastante para nublar el referido análisis. Es necesario entonces acudir a la imposición de los hechos que por su compatibilidad con una sola de las teorías contrapuestas sirven de *experimentum crucis* para resolver entre ellas.

Este papel lo llenan las tres consecuencias



comprobables por la observación que Einstein ha deducido de su teoría, por no referirnos más que a la Ciencia del principio generalizado en que hoy se concentra toda la oposición, pues el restringido que halló al nacer análogas dificultades, ha tiempo que ha conquistado el asentimiento general. El movimiento del perihelio de la órbita de Mercurio, la desviación de la luz en su paso por las proximidades del Sol y el corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales que proceden de los cuerpos incandescentes situados en campos gravitatorios más intensos que el de la superficie de nuestro planeta, son fenómenos previstos cuantitativamente por Einstein y confirmados por la observación anterior o posterior a ella, sin que tales resultados hayan intervenido en ningún momento de su desarrollo para fijar constantes indeterminadas que figurasen en sus ecuaciones, circunstancia en todo tiempo considerada como argumento de máximo valor en pro de una teoría científica.

No obstante estos éxitos, la inercia intelectual, como es lógico, sigue resistiendo y adopta una de estas dos actitudes: o disecciona cuidadosamente los resultados de la observación buscando posibles causas de error que debiliten la convicción que de ellos pueda desprenderse, o busca afanosamente concepciones teóricas que conduzcan a las mismas consecuencias sin romper tan marcadamente con las ideas clásicas.

Para ser más concreto en el examen de estas dos tendencias, me referiré al interesante trabajo del astrónomo francés E. Esciangon, titu-

## PRÓLOGO

13

lado *Les preuves astronomiques de la relativité*, y a la Memoria de P. Painlevé, *La théorie classique et la théorie einsteiniene de la gravitation*. En la primera se hace un detallado estudio del valor de cada una de las coincidencias entre la teoría y la observación a que antes he aludido, y se concluye que en todas ellas, y sobre todo en los casos del movimiento de Mercurio y de la desviación de la luz, los errores posibles en el cálculo de las observaciones afectan en tal proporción a los resultados, que está justificado el considerar fortuito el acuerdo. Esta objeción sería de gran fuerza si no se tratase de tres fenómenos absolutamente independientes, y además los únicos que han podido prevalecer. Al mismo estado de espíritu responde el esperar al resultado de nuevas observaciones para declarar la victoria del pensamiento de Einstein; en particular, es frecuente la afirmación de que el eclipse recientemente observado en el hemisferio Sur puede ser decisivo. Es innegable la posibilidad de que el éxito sea de tal modo claro, que contribuya a disminuir la resistencia de ciertos espíritus; pero lo más probable es que la opinión científica continúe su evolución lenta en el sentido de las nuevas ideas. Los que mayor repugnancia sienten hacia ella, encontrarán en las diferencias entre los resultados de los distintos observadores suficiente motivo para seguir dudando, mientras los ya convencidos no sentirán debilitada su fe ante resultados menos concordantes que los obtenidos en el eclipse de 1919. Lejos de mi ánimo negar

importancia a las observaciones que hayan podido realizarse en el último eclipse o se logren en los futuros, pues acaso permitan nuevos avances a nuestro conocimiento o contribuyan al perfeccionamiento de algunos aspectos parciales de la teoría. Sólo he querido afirmar que lo más esencial de ella se encuentra suficientemente consolidado por la lógica acabada de su construcción y porque ha permitido la interpretación de varios hechos de experiencia que escapaban a las teorías clásicas, sin perder una sola de las conquistas que ellas lograron.

Viniendo ya a la segunda de las actitudes arriba señaladas, Painlevé formula una serie de postulados que conservan la geometría de Euclides para el espacio, de los cuales deriva una teoría que él llama *semieinsteinniana*, cuyas previsiones astronómicas sólo difieren de las deducidas por Einstein en cantidades que se hallan más allá de los medios actuales de observación. En ella se conserva la idea del tiempo absoluto, y, por tanto, se prescinde de las modificaciones que en la Mecánica introdujo la relatividad restringida; pero es el caso que esta última cuenta ya en su haber con el apoyo de resultados experimentales de tal importancia, que ningún físico puede dudar de su exactitud.

Es clara la analogía de esta actitud con la de aquellos que, reconociendo el progreso que las ideas de Einstein representan para el conocimiento de la realidad externa, se preguntan por el valor lógico de la construcción elaborada como interpretación de la realidad. Me limitaré

## PRÓLOGO

15

a citar aquí el trabajo reciente de Zaremba: *La théorie de la Relativité et les faits observés*, pues un análisis de este interesante aspecto del problema me llevaría demasiado lejos.

Vuelvo a repetir que la finalidad que he perseguido, tanto en las conferencias y cursos arriba recordados como en la publicación de este libro, es llevar al ánimo de mis oyentes y lectores la convicción de que las alteraciones impuestas por el principio de relatividad en los conceptos fundamentales de la Filosofía natural están impuestas por la observación y la experiencia, y vienen a depurar nuestro conocimiento positivo de ciertos postulados que subrepticamente se introdujeron en él.

Conviene a esta finalidad un modo de exposición que no es el de un libro didáctico, pues he debido sacrificar el detalle del razonamiento a la rápida visión de las dificultades de la Ciencia clásica y su fácil eliminación por las nuevas ideas. Muy especialmente quiero precaver al lector contra el deseo de seguir al detalle los cálculos que en este libro se esbozan. En las múltiples fórmulas que encontrará en sus páginas, ha de ver cosas, objetos, creaciones del espíritu, destinados a contener de la manera más acabada y más concisa la descripción esquemática de la Naturaleza; pero no aspire a averiguar el cómo y el porqué de dichas fórmulas con el solo auxilio de lo que en este libro se dice. Precisamente creemos que la fuente más copiosa de las dificultades con que la nueva Ciencia ha venido luchando, es la necesidad de

utilizar para su desarrollo métodos de razonamiento matemático que hasta ella fueron del dominio exclusivo de un grupo muy limitado de especialistas, y para cuyo uso adecuado faltaba aquel hábito que es indispensable para el empleo de todo instrumento.

Repito que no ha sido mi objeto una exposición didáctica, sino inspirar la fe en las nuevas ideas y despertar el deseo de su más perfecto conocimiento, para el cual se dispone hoy de una excelente literatura, de entre la cual señalo al lector, en la Bibliografía que va al final de este libro, las obras más interesantes, agrupadas y hasta ordenadas del modo que estimo más adecuado para un estudio completo de la nueva teoría, que si de momento parece de escasa trascendencia para la Ciencia que más directamente procura la resolución de los problemas concernientes a nuestra vida material, la tiene incalculable para la Filosofía natural, puesto que supone una revolución profunda de nuestra concepción del Universo.

A.IV. *DISCURSOS* EN LA ACADEMIA DE CIENCIAS (1923)

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

---

# DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN LA

SESIÓN SOLEMNE QUE SE DIGNÓ PRESIDIR S. M. EL REY EL DÍA 4 DE  
MARZO DE 1923, CELEBRADA PARA HACER ENTREGA DEL DIPLOMA DE  
ACADÉMICO CORRESPONSAL

AL PROFESOR

ALBERTO EINSTEIN



MADRID  
TALLERES POLIGRÁFICOS

Ferraz, 72.—Teléfono 24-09 J.

1923

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN LA

SESIÓN SOLEMNE QUE SE DIGNÓ PRESIDIR S. M. EL REY EL DÍA 4 DE  
MARZO DE 1923, CELEBRADA PARA HACER ENTREGA DEL DIPLOMA DE  
ACADÉMICO CORRESPONSAL

AL PROFESOR

ALBERTO EINSTEIN



MADRID  
TALLERES POLIGRÁFICOS  
Ferraz, 72.—Teléfono 24-09 J.

1923



Der Akademie der Wissenschaften in Madrid  
 in dankbarer Erinnerung am den März 1923  
 Albert Einstein.



DISCURSO

DEL ILMO. SEÑOR

D. B L A S C A B R E R A

SEÑOR :

SEÑORES ACADÉMICOS :

SEÑORAS Y SEÑORES :

LA misión que me ha sido conferida por nuestro Presidente para este acto se concreta a hacer la presentación del profesor Alberto Einstein, a quien la Academia otorga la más alta distinción a que le autorizan sus Estatutos, para testimoniar al genial hombre de ciencia la admiración que su obra ha merecido a cuantos en nuestra patria dedican su actividad al estudio de los diversos capítulos de la Filosofía natural, testimonio que ha querido realzar S. M. el Rey con su presidencia.

Esta admiración ha popularizado la personalidad de nuestro huésped lo bastante para que yo pueda en estos momentos prescindir de detalles biográficos que todos conocéis. El tiempo que a ello habría de dedicar me hace falta para señalar, aunque sólo sea en rápida enumeración, las ideas que el sabio profesor alemán ha ido sembrando en diferentes capítulos de la Física.

Sin duda debe aquella justa popularidad a la teoría edificada

sobre sus famosos principios de relatividad especial o restringida y de la relatividad general ; pero aun prescindiendo de ella, la Ciencia le es acreedora de importantes descubrimientos que, repartidos entre otros tantos físicos, habrían bastado para llevar sus nombres a lugares preeminentes en la lista de los sabios.

El privilegio de atraer la curiosidad del vulgo, de que gozan aquellos principios, es natural consecuencia del amplio dominio a que extienden su influencia, pues afectan a las nociones más fundamentales del conocimiento, transformando ideas elaboradas por una ciencia secular y de raigambre tan profunda en nuestro entendimiento que parecen de la clase de aquellas otras que nos son impuestas por nuestra propia organización mental. Quien tenga conciencia de la ímproba labor que supone el descuaje de estos residuos que el pensamiento clásico ha dejado en nosotros para dar fácil entrada a las flamantes ideas no puede menos de sentir admiración por la genial cabeza que supo concebirlas, en una época en que nadie osaba dudar de la intangibilidad de la Mecánica de Galileo y de Newton, contrastada por las prodigiosas conquistas de la Técnica moderna, hija directa de aquélla.

Y, sin embargo, el análisis de la noción de tiempo, por el cual Einstein llegó a formular el principio de relatividad restringido, tiene una construcción lógica tan sólida que nadie ha sido capaz de encontrar en él la más ligera imperfección, y el postulado de constancia de la velocidad de la luz es una extrapolación tan natural de los múltiples experimentos realizados para denunciar diferencias en su valor que se impone con fuerza irresistible. Las dificultades surgen cuando comienzan a deducirse corolarios de aquellos postulados, y como el razonamiento que lleva de los unos a los otros no ofrece tampoco a la

crítica punto vulnerable, el afán de quienes aspiran a salvar sus prejuicios de un naufragio inevitable produce un desconcierto en su pensamiento que se denuncia en el escaso valor de sus objeciones.

Ciertamente es el tiempo uno de los más eficaces auxiliares para la modificación de tales estados de espíritu, que el propio tiempo ha creado. La duda que sin remedio prende en nuestros más firmes convencimientos va debilitando su resistencia. Pero es la experimentación quien obra en definitiva el milagro de librarnos de los últimos escrúpulos, y así, la confirmación del cambio de la masa de los electrones con la velocidad, que conduce a la identificación de la materia con la energía, ha consagrado a estas fechas el principio restringido, que hace una docena de años se discutía en el mundo científico con no menos tesón que hoy el general.

Es ley inflexible de la evolución de nuestro pensamiento, tan inmutable como la inercia para el movimiento de la materia : toda innovación en el conocimiento encuentra una resistencia mental tanto mayor cuanto más profundamente afecta a nuestras ideas anteriores. La Mecánica celeste fundada por Newton fué en sus días objeto de oposición, hoy incomprensible, por parte de los más brillantes hombres de ciencia de su época, y las concepciones de Faraday sobre las acciones a través del medio necesitaron vencer obstáculos no menos grandes.

El caso de la relatividad no es, por tanto, nuevo, y ello nos autoriza a prever que en tiempos no lejanos la admirable belleza que comunica a la Filosofía natural la impondrá sin reservas al mundo científico.

El grado de popularidad alcanzado por la teoría de la relatividad me autoriza para no insistir por más tiempo en ella. En cambio, pareceme indispensable que os llame la atención sobre la restante obra de Einstein, acaso menos brillante, pero no de menor trascendencia para el desarrollo de las ciencias físicas.

La realidad de las moléculas fué durante siglos problema que preocupó a cuantos estudiaron la Naturaleza, entendidas dichas moléculas como sistemas independientes que en número enorme integran las más pequeñas porciones de cualquier cuerpo. La resolución afirmativa de este problema ha sido el fruto de la brillante labor experimental de Perrin, Svedberg y Millikan, pero no hubiese sido posible si la Física teórica no hubiera arrojado abundante luz sobre los fenómenos que pueden preverse en uno de dichos complejísimos sistemas. Para ello hubo de recurrir a los métodos estadísticos, y no corresponde escasa participación en el mérito de su actual desarrollo al profesor Einstein. Obra suya es la teoría del movimiento browniano, supuesto caracterizado por los corrimientos medios de las partículas en un intervalo definido de tiempo, cuya constancia demostró analíticamente, así como su relación inmediata con el coeficiente de difusión. Precisamente el mérito fundamental de los físicos precitados estriba en la confirmación de la ley de Einstein en las emulsiones líquidas y gaseosas, que significó tanto como la prueba de que las hipótesis fundamentales de la teoría se ajustan a la realidad. Entonces fué posible la determinación de la constante de Avogadro y la carga del electrón, que constituyen la base de la teoría molecular y de la estructura misma de la materia.

Sin duda por otros caminos ha sido posible obtener los mismos resultados, pero esto no disminuye el valor de la ley de

— II —

Einstein, bien probado en casos como los pretendidos subelectrones de Ehrenhaft.

\* \* \*

A la discontinuidad siempre presumida de la materia hubo de agregarse en los albores del presente siglo una hipótesis equivalente relativa a los cambios de energía entre aquélla y la radiación, como única manera de interpretar la distribución de la energía en el espectro. Según ella, la emisión y la absorción, o al menos la primera, ocurren en múltiplos bien definidos de una unidad o *cuanto* de energía, cuya magnitud es proporcional a la frecuencia de la radiación. La ley que así obtuvo Planck está de perfecto acuerdo con la experiencia, pero en los razonamientos que hasta ella conducen, existen contradicciones lógicas de tal monta que no es posible considerar la teoría como definitiva.

Entre los físicos a quienes ha preocupado su esclarecimiento figura en primera línea el profesor Einstein, quien da a los *cuantos* de energía una interpretación más amplia que Planck, suponiendo que poseen una individualidad perfectamente distinta, en vez de limitar su intervención a los cambios de energía entre la materia y la radiación. Para él los *cuantos de luz* son una realidad, ni más ni menos que los átomos de los cuerpos, aunque su naturaleza sea profundamente diversa. En ello estriba la diferencia entre el pensamiento de Einstein y la teoría de la emisión de Newton, que podría creerse resucitada por aquél. Para uno y otro la luz es una emanación discontinua del foco; pero mientras para el físico inglés se halla formada por partículas del fluido luminoso, para Einstein son *cuantos* de

energía ondulatoria que también han de ser absorbidos por unidades enteras.

Son innegables las dificultades que se oponen a la aceptación de este modo de ver. De una parte, parece bien demostrada la necesidad de la coherencia de las ondas luminosas que interfieren, circunstancia que obliga a suponer una extensión de algunos metros al volumen ocupado por el *cuanto* de energía. De otra parte, no es concebible el proceso físico por el cual puede producirse en un solo acto la absorción o emisión de una cantidad de energía que ocupa tan grande espacio, cuya dimensión en el sentido de la propagación ha de conservarse invariable por virtud del principio de constancia de la velocidad de la luz.

Pero si de momento olvidamos esta dificultad, la hipótesis de Einstein conduce a la explicación de ciertas leyes físicas, hasta él sin interpretación. Siguiendo el orden en que las enumera su autor, citemos en primer lugar la de Stokes, según la cual las radiaciones excitadas por fluorescencia poseen una longitud de onda por lo menos igual a la de la radiación excitadora. En segundo término, la ley

$$1/2 mv^2 = h\nu - P$$

de variación de la energía de los fotoelectrones cuando crece la frecuencia de la luz excitante; ley que de modo cualitativo encontraron cuantos investigadores abordaron inicialmente el estudio de este fenómeno, pero que ha sido demostrada cuantitativamente en la luz ordinaria por Millikan, y en el dominio de los rayos  $\gamma$  y X por Rutherford y de Broglie, limitando cuanto es posible la extensión de las citas. Por otra parte, la ley en cuestión puede invertirse, refiriéndose al caso de la radiación emiti-

da como consecuencia de la percusión de electrones de velocidad definida, sobre un obstáculo, por cuyo camino recibe clara interpretación la brusca limitación de la frecuencia de los rayos X del lado de las ondas cortas.

No tardó Einstein en formular un nuevo corolario de su hipótesis, punto de arranque de importantes trabajos relativos a la teoría del estado sólido. Los cambios de energía por *cuantos* se habían siempre supuesto limitados a los que se producen entre la radiación y la materia, pero Einstein extiende la hipótesis al caso en que aquéllos ocurren entre las moléculas materiales, en los choques que provoca la agitación térmica, y por este camino consigue interpretar, en primera aproximación, la variación de los calores específicos, teoría que han perfeccionado Debye y Born y Karman.

Volviendo a la ley fotoeléctrica, la más importante de cuantas dedujo Einstein de su hipótesis de los *cuantos de luz*, no parece excesivo afirmar que ha pasado a constituir la base más sólida de la teoría de los *cuantos*. Es difícil librarse de considerarla como el punto de arranque lógico de los postulados que han servido a Bohr para edificar su teoría de los espectros. Recíprocamente, es evidente que Einstein se inspiró en estos últimos para deducir la fórmula de Planck referente a la distribución de la energía en el espectro, librándola de la contradicción intrínseca a que hube de referirme más arriba.

Terminaré recordando que en el pensamiento de Einstein parece persistir la hipótesis de la discontinuidad de la energía radiante. Según he dicho, los corolarios que de ella ha deducido se hallan en estrecho acuerdo con la experiencia; pero sus esfuerzos para encontrar la prueba directa de los *cuantos de luz*, alguno muy reciente, no han logrado el éxito deseado. No disminuye esto el mérito de su autor; quizá sean previsiones



— 14 —

geniales que en fecha más o menos próxima se nos muestren como hechos evidentes.

Debo decir que no he pretendido hacer una enumeración completa de los trabajos de nuestro ilustre nuevo compañero. He preferido fijar la atención en los grandes capítulos de su labor, a mi modo de ver al menos. Fuera han quedado cuestiones tan importantes como la ley del equivalente fotoquímico, que es actualmente objeto de empeñadas discusiones en la ciencia experimental, y la demostración de la realidad de las corrientes de Ampère.

\* \* \*

Ahora permitidme que dirija mis últimas palabras al profesor Einstein en nombre de los estudiosos españoles. Diversas circunstancias, que no he de analizar, han hecho que nuestra aportación a la Ciencia sea hasta hoy desproporcionada con obras que en épocas acaso algo remotas hemos realizado en bien del progreso de la Humanidad. El tiempo en que aquéllas tuvieron su valor y su sentido pasó ya, y es hora, después del largo reposo que nos hemos tomado, de que apliquemos las mismas energías y virtudes demostradas entonces, y que hoy comienzan a ser reconocidas a nuestros antepasados, a labores más en consonancia con la época en que vivimos.

Reconocemos nuestra deuda para con la Humanidad y nuestro anhelo es llegar pronto a saldarla. Yo os lo afirmo, en nombre de las generaciones presentes y de un futuro inmediato. Sois aún joven. Espero que al final de vuestra vida, que será también el de mi generación, la España científica, que hoy apenas encontráis en embrión, haya llegado al lugar que tiene

— 15 —

el inexcusable deber de ocupar. Así al menos pensamos aquellos para quienes el optimismo es una virtud motora del progreso.

He dicho.

DISCURSO

DEL PROFESOR

A . E I N S T E I N

MAJESTAD :

ACEPTAD, respetables colegas, la expresión de mi más profundo agradecimiento unida a la de mi satisfacción por haberme elegido vuestro Académico corresponsal. Lazos como los que hemos establecido hoy demuestran nuevamente que las fuerzas espirituales que unen a los pueblos no pueden ser destruidas de una manera permanente por las tempestades políticas de los tiempos actuales.

Vuestras palabras, querido Sr. Cabrera, han llegado a lo más hondo de mi corazón, no por contener para mí el honor de un gran reconocimiento, sino porque demuestran la forma consciente y cariñosa con que habéis estudiado el trabajo de mi vida, haciéndoos eco de la frase del poeta : «queremos recibir menos alabanzas y, en cambio, que se nos lea con aplicación». Habéis tomado en consideración también el punto débil de la teoría de los *cuantos de luz*, arduo tema de nuestra generación de físicos. Creo que únicamente podrán allanarse esas dificultades mediante una teoría que no solamente modifique fundamentalmente el principio de energía, sino que quizá amplíe el de la causalidad.

Tetrode ha apuntado precisamente hace poco tales posibilidades. Aunque los principios para la solución de este problema fundamental han adquirido hasta ahora poco cuerpo, el nuevo impulso para la recopilación de todas las fuerzas de la Naturaleza, nacido de la teoría de la relatividad, parece, sin embargo, prometer éxitos satisfactorios. El método empleado en esto es puramente matemático especulativo y caracterizado con los nombres de Levi-Civita, Weil, Eddington. Realmente se consigue por este camino libertar totalmente al fundamento de la Física del perturbador dualismo condensado en los dos nombres, gravitación y electricidad.

Muy significativas me han parecido las palabras que habéis pronunciado, reflejo de vuestra esperanza optimista sobre el desarrollo científico de España. Los tiempos de participación activa en el progreso mundial del entendimiento están ligados a condiciones exteriores que ya se han realizado en vuestro país. Creo que la mortificada y amenazada Europa puede volver los ojos llena de esperanza hacia este pueblo, que se encamina al trabajo científico después de haber producido para la Humanidad cosas tan grandes en la esfera del Arte.

# DISCURSO

DEL EXCMO. SEÑOR

D. JOSÉ RODRIGUEZ CARRACIDO

Presidente de la Academia.

SEÑOR :

GRANDE es el júbilo de la Academia en estos momentos en que V. M. se digna presidir esta sesión solemne que la Corporación celebra en honor del profesor Einstein, porque si siempre es motivo de su complacencia honrar a los hombres que se distinguen en los trabajos de la investigación científica y en la exposición de teorías fundamentales para explicar los fenómenos de la Naturaleza, lo es singularmente en este día dedicado a honrar a un sabio que debe calificarse de máximo.

Grande es la importancia que para la Humanidad representa el descubrimiento de un hecho del que puede obtenerse utilidad práctica ; lo es también el hallazgo, producto de cultivo de la Ciencia, de fenómenos cuyo estudio permite descubrir, si no aplicaciones prácticas, medios impulsores del progreso, y la tienen singular el trabajo y la misión genial del sabio que llega a percibir y a formular los grandes principios a que obedecen en su acción las fuerzas naturales. Demostración de este aserto son las múltiples conquistas realizadas, pudiendo citarse como ejem-

plo el estudio del espectro, que puso a los físicos en condiciones de hacer el análisis químico de los astros, y los actuales estudios espectroscópicos, que permiten llegar a estudiar la estructura del átomo.

Mas los sabios que profundizan el estudio de resultados obtenidos en la investigación emiten conceptos y presentan ideas que frecuentemente sirven de explicación, cada vez más aproximada a la verdad, de muchos fenómenos naturales. Estas ideas, concebidas en el cerebro del trabajador científico, vienen a su vez a ser herramientas de trabajo utilizadas en definitiva en el progreso de la Ciencia. El sabio e investigador que se elevan desde las capas inferiores de la atmósfera de su laboratorio hasta las más altas regiones, vislumbran desde ellas nuevos conceptos, y a veces ven clara la explicación de muchos hechos que, llevada al terreno de la práctica, sirve de elemento propulsor y de bienestar a la Humanidad.

Imprime al acto que hoy celebramos sello inolvidable una circunstancia que no puedo menos de apuntar. Cuando en los días luctuosos de la tremenda lucha mundial horrendas catástrofes tenían aterrado al mundo, en el Palacio Real de Madrid, y por iniciativa de nuestro augusto monarca, se prodigaban consuelos y se concedía acogida favorable y amparo a innumerables angustias producidas por la guerra. Al mismo tiempo que S. M. el Rey realizaba esta obra excelsa, el profesor Einstein trabajaba calladamente en su laboratorio persiguiendo la verdad en la explicación de muchos fenómenos y laborando, por lo mismo, en favor del progreso de la Humanidad, pudiendo afirmarse que con su trabajo científico tuvo la virtud de concertar a los hombres en una obra de concordia. Razón de júbilo es por cierto ver hoy aquí reunidos con motivo del homenaje que se tributa al profesor Einstein, las dos grandes figuras que se



— 25 —

paradamente y por caminos diversos realizaban empresas tan augustas.

Reitero a V. M., en nombre de la Academia, el agradecimiento de ésta por la honra que la dispensáis, y saludo cordialmente al profesor Einstein.

DISCURSO

DEL EXCMO. SEÑOR

D. JOAQUIN SALVATELLA

Ministro de Instrucción Pública.

SEÑOR :

**D**EBER que cumpla gustoso es adherirme en nombre del Gobierno de V. M. al homenaje tributado al profesor Einstein y felicitar a la Facultad de Ciencias y a esta Academia por los actos que celebran en honor del sabio físico.

Magistralmente traza el Sr. Cabrera la personalidad científica del profesor Einstein, y yo le felicito por su acierto ; pero en la última parte de su discurso aparece demasiado modesto al referirse a la Ciencia española. Yo creo que el profesor Einstein, que visitándonos honra a España, podrá llevar de ella la impresión—lo digo sin falso optimismo ministerial—de que en este país florecen también las Ciencias. No me corresponde analizar las teorías científicas del profesor Einstein ni hacer pronósticos sobre el porvenir de las mismas. Los genios formulan su pensamiento y emiten sus teorías, que el transcurso de los tiempos modifica a veces, para perfeccionarlas en definitiva. Lo que sí puede afirmarse es que el profesor Einstein, uno de esos genios, es un ejemplo para los hombres científicos y una demostración para la Humanidad toda de que el amor y el cultivo de la Cien-

— 30 —

cia pueden contrarrestar, en algún modo, las diferencias de los hombres.

Al felicitar al profesor Einstein puedo decirle que por voluntad del Soberano y del Gobierno de España ésta está dispuesta a continuar la obra de paz que S. M. el Rey desarrolló durante la guerra y a ayudar en sus investigaciones a los sabios alemanes cuya labor está dificultada actualmente por el estado económico que atraviesa su patria.

RELACIÓN DE LOS TRABAJOS DEL  
PROFESOR ALBERTO EINSTEIN

*Folgerungen aus Capillaritätserscheinungen.* Ann. d. Phys. Tomo IV, 513 (1901).

*Über die thermodynamische Theorie der Potentialdifferenz zwischen Metallen und vollständig dissoziierten Lösungen ihrer Salze und über eine elektrische Methode zur Erforschung der Molekularkräfte.* Ann. d. Phys. T. VIII, 798 (1902).

*Kinetische Theorie des Wärmegleichgewichts und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik.* Ann. d. Phys. T. IX, 417 (1902).

*Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik.* Ann. d. Phys. T. XI, 170 (1903).

*Zur allgemeinen molekularen Theorie der Wärme.* Ann. d. Phys. T. XIV, 354 (1904).

*Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen.* Ann. d. Phys. T. XVII, 549 (1905).

*Zur Elektrodynamik bewegter Körper.* T. XVII, 891 (1905).

- Ist die Tätigkeit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* Ann. d. Phys. T. XVIII, 639 (1905).
- Über einen die Erzeugung und Verwendung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.* Ann. d. Phys. T. XVII, 132 (1905).
- Das Prinzip von Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und der Trägheit der Energie.* Ann. d. Phys. T. XX, 627 (1906).
- Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen.* Ann. d. Phys. T. XIX, 289 (1906).
- Über eine Methode zur Bestimmung des Verhältnisses der transversalen und longitudinalen Masse des Elektrons.* Ann. d. Phys. T. XXI, 583 (1906).
- Zur Theorie der Lichterzeugung und der Lichtabsorption.* Ann. d. Phys. T. XX, 199 (1906).
- Zur Theorie der Brownschen Bewegung.* Ann. d. Phys. T. XIX, 371 (1906).
- Theoretische Bemerkungen über die Brownsche Bewegung.* ZS. f. Elektrochem. T. XIII, 41 (1907).
- Die von Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie.* Ann. d. Phys. T. XXIII, 371 (1907).
- Über die Möglichkeit einer neuen Prüfung des Relativitätsprinzips.* Ann. d. Phys. T. XXIII, 197 (1907).
- Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme.* Ann. d. Phys. T. XXII, 180 (1907).
- Über die Gültigkeitsgrenze des Satzes vom Thermodynamischen Gleichgewicht und über die Möglichkeit einer neuen Bestimmung der Elementarquanta.* Ann. d. Phys. T. XXII, 569 (1907).
- Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen.* J. d. Radioak. u. Elektr. T. IV, 411.
- Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte*

- Körper*. Ann. d. Phys. T. xxvi, 532 (1908), y T. xxviii, 445 (1909).  
(En colaboración con Laub.)
- Über die im elektromagnetischen Felde auf ruhenden Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte*. Ann. d. Phys. T. xxvi, 541 (1908). (En colaboración con Laub.)
- Elementare Theorie der Brownschen Bewegung*. ZS. f. Elektrochem. T. xiv, 235 (1908). (En colaboración con Ritz.)
- Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung*. Phys. ZS. T. x, 817 (1909),  
*Zum gegenwärtigen Stande des Strahlungsproblems*. Phys. ZS. T. x, 185 (1909), y T. x, 323 (1909). (En colaboración con Ritz.)
- Sur les forces pondéromotrices qui agissent sur des conducteurs ferromagnétiques disposés dans un champ magnétique et parcourus par un courant*. Arch. Gén. T. xxx, 323 (1910).
- Sur la théorie des quantités lumineuses et la question de la localisation de l'énergie électro-magnétique*. Arch. Gén. T. xxix, 525.
- Le principe de la relativité et ses conséquences dans la physique moderne*. Arch. Gén. T. xxv, 5-125.
- Theorie der Opaleszenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nähe des kritischen Zustandes*. Ann. d. Phys. T. xxxiii, 1.275 (1910).
- Statistische Untersuchungen der Bewegung eines Resonators in einem Strahlungsfeld*. Ann. d. Phys. T. xxxiii, 1.105 (1910).  
(En colaboración con Hopf.)
- Über einen Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung und seine Anwendung in der Strahlungstheorie*. Ann. d. Phys. T. xxxiii, 1.096 (1910).
- Relativitätstheorie*. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich. T. lvi, 1 (1911).
- Zum Ehrenfest'schen Paradoxon*. Phys. ZS. T. xii, 509 (1911).

- Bestimmung der Moleküldimensionen.* Ann. d. Phys. T. xxxiv, 591 (1911).
- Forces pondéromotrices qui agissent sur des conducteurs ferromagnétiques disposés dans un champ magnétique.* Arch. Gén. T. xxx, 320 (1910).
- Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes.* Ann. d. Phys. T. xxxv, 898 (1911).
- Mechanische Grundlagen der Thermodynamik.* Ann. d. Phys. T. xxxiv, 175 (1911).
- Thermische Molekularbewegung in festen Körpern.* Ann. d. Phys. T. xxxv, 679.
- Das Gesetz von Eötvös.* Ann. d. Phys. T. xxxiv, 165.
- Beziehung zwischen dem elastischen Verhalten und spezifischen Wärme bei festen Körpern mit einatomigem Molekül.* Ann. d. Phys. T. xxxiv, 170.
- Lichtgeschwindigkeit und Statik des Gravitationsfeldes.* Ann. d. Phys. T. xxxviii, 355 (1912).
- Theorie des statischen Gravitationsfeldes.* Ann. d. Phys. T. xxxviii, 443 (1912).
- Relativität und Gravitation.* Ann. d. Phys. T. xxxviii, 1.059 (1912) y T. xxxix, 704 (1912).
- Thermodynamische Begründung des photochemischen Äquivalentge-se-tzes.* Ann. d. Phys. T. xxxvii, 832 (1912) y T. xxxviii, 881 (1912).
- Stand des Gravitationsproblemes.* Phys. ZS. T. xiv, 1.249 (1913).
- Déduction thermodynamique de la loi de l'équivalence photochimique.* Jour. de Phys. T. iii, 277 (1913).
- Einige Argumente für die Annahme einer molekularen Agitation beim absoluten Nullpunkt.* Ann. d. Phys. T. xl, 551 (1913). (En colaboración con O. Stern.)



- Stand des Problems der spezifischen Wärme.* Premier Congrès Solvay (1913).
- Formale Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie.* Berl. Ber. 1.030 (1914).
- Physikalische Grundlagen einer Gravitationstheorie.* Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zurich, 284 (1913).
- Prinzipielles zur verallgemeinerten Relativitätstheorie und Gravitationstheorie.* Phys. ZS. T. xv, 176 (1914).
- Mitführung des Lichtes in Glas und Aberration* Astron. Nachr. T. CIC, 747 (1914).
- Beiträge zur Quantentheorie.* Verh. D. Phys. Ges. T. xvi, 820 (1914).
- Theoretische Atomistik.* Die Kultur der Gegenwart. III, 1, Phys. 251 (1914).
- Die Nordströmsche Gravitationstheorie vom Standpunkt des absoluten Differenzialkalküls.* Ann. d. Phys. T. XLIV, 321 (1914). (En colaboración con Fokker.)
- Relativitätstheorie und Theorie der Gravitation.* ZS. f. Math. u. Phys. LXII, 225 (1914). (En colaboración con Grossmann.)
- Kovarianzeigenschaften der Feldgleichungen der auf die verallgemeinerte Relativitätstheorie gegründeten Gravitationstheorie.* ZS. f. Math. u. Phys. LXIII, 137 (1914). (En colaboración con Grossmann.)
- Grundgedanke der allgemeinen Relativitätstheorie und Anwendung dieser Theorie in der Astronomie.* Berl. Ber., 1915, 315.
- Allgemeine Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1915, 778-709.
- Feldgleichungen d. Gravitation.* Berl. Ber., 1915, 844.
- Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1915, 831.
- Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung und seine Anwendung auf die Strahlungstheorie.* Ann. d. Phys. T. XLVII, 879 (1915).

- Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme.*  
Verh. d. Phys. Ges. T. XVII, (1915). Proc. Acad. Amsterdam. T. XVIII, 173 (1916).
- Hamiltonsches Prinzip und allgemeine Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1916, I.III.
- Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.* Ann. d. Phys. T. II, 769.
- Überlegungen aus dem Gebiete der Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1916, 423.
- Integration der Feldgleichungen der Gravitation.* Berl. Ber., 1916, 688.
- Über Friedrich Kottlers Abhandlung Über Einsteins Äquivalenzhypothese und die Gravitation.* Ann. d. Phys. T. LI, 639 (1916).
- Elementare Theorie der Wasserwellen und des Fluges.* Die Naturwiss. T. IV, 509.
- Formale Deutung der Maxwell'schen Feldgleichungen der Elektrodynamik.* Berl. Ber., 1916, 184.
- Quantentheorie der Strahlung.* Phys. ZS. T. XVIII, 321 (1913).
- Strahlungsemission und absorption nach der Quantentheorie.* Verh. D. Phys. Ges. T. XVIII, 318 (1916).
- Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1918, 448.
- Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie.* Ann. d. Phys. T. LI, 639 (1916).
- Notiz zu E. Schrödingers Arbeit. «Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes.»* Phys. ZS. T. XIX, 115 (1918).
- Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz. «Über ein Lösungssystem der allgemeinen Kovarianten Gravitationsgleichungen.»* Phys. ZS. T. XIX, 165 (1918).
- Kritisches zu einer von Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen.* Berl. Ber., 1918, 270.

— 37 —

- Gravitationswellen.* Berl. Ber., 1918, 154.
- Bemerkungen über die periodische Schwankungen der Mondlänge, welche bisher nach der Newtonschen Mechanik nicht erklärbar erschienen.* Berl. Ber., 1919, 433.
- Einwände gegen die Relativitätstheorie.* Die Naturwissenschaften. T. VI, 697.
- Lassen sich Brechungsexponenten der Körper für Röntgenstrahlen experimentell ermitteln?* Verh. D. Phys. Ges. T. XX, 86, (1918).
- Über den Aether.* (Observaciones a E. Gehrcker.) Verh. D. Phys. Ges. T. XX, 261 (1918).
- Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1917, 142.
- Eine Ableitung des Theorems von Jacobi.* Berl. Ber., 1917, 606.
- Quantensatz von Sommerfeld und Spstein.* Verh. D. Phys. Ges. XIX, 82 (1917).
- Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie.* Naturwissenschaften. T. VII, 776 (1919).
- Spielen Gravitationsfelder im Aufbau der materiellen Elementarteilchen eine wesentliche Rolle?* Berl. Ber., 1919, 349.
- Schallausbreitung in teilweise dissoziierten Gasen.* Berl. Ber., 1920, 380.
- Aether und Relativitätstheorie* (1920).
- Geometrie und Erfahrung.* Berl. Ber., 1921, 123.
- Über eine naheliegende Ergänzung des Fundamentes der allgemeinen Relativitätstheorie.* Berl. Ber., 1921, 261.
- Inwiefern lässt sich die moderne Gravitationstheorie ohne die Relativität begründen?* Naturwissenschaften. T. VIII, 1.010 (1920).
- Eine einfache Anwendung des Newtonschen Gravitationsgesetzes auf die kugelförmigen Sternhaufen.* Festschr. Kaiser Wilhelm Ges., 1921, 50.

— 38 —

*Über ein den Elementarprozess der Lichtemission betreffendes Experiment.* Berl. Ber., 1921, 882.

*Relativität und Theorie der Gravitation* (1913).

*Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie.* (1.<sup>a</sup> edición, 1916. 14.<sup>a</sup> ed., 1922).

*Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie gehalten im Mai 1921 an der Universität Princeton* (1922).

A.V. "PROCESO DE EXTENSIÓN DEL CONOCIMIENTO"  
(1927)

*BLAS CABRERA*

# Proceso de extensión del conocimiento

\*

*Revista de Occidente*

1927

# Proceso de extensión del conocimiento

## I

**C**ONOCEMOS la naturaleza a través de los sentidos, muy principalmente el de la vista, y por ello asombra la amplitud de nuestro saber, a pesar del estrecho dominio de aquellos órganos. Se explica que este evidente contraste haya conducido en ocasiones al planteamiento, como cuestión previa, de la posibilidad de conocer aquello donde el testimonio de los sentidos falta. Pero siguiendo al detalle el modo como la ciencia se ha ido construyendo, vuelve la tranquilidad al espíritu, curándole de estos amagos de agnosticismo.

Se ha logrado una primera extensión de los dominios de la inteligencia más allá de lo que parecen sus fronteras naturales, por la invención de aparatos que aumentan la acuidad de los sentidos. Por ejemplo, el microscopio y el antejo. El primero nos denuncia cómo porciones de materia que a simple vista parecen perfectamente homogéneas (una gota de agua limpia)

pueden encerrar todo un mundo de seres vivientes. El segundo resuelve las manchas blanquecinas que llamamos nebulosas en infinidad de estrellas, separadas unas de otras por distancias fantásticamente grandes. Así, el uno y el otro son a modo de ventanas abiertas en las fronteras que cierran el mundo en que es posible la observación directa sobre campos más dilatados.

Para comprender lo que vemos al asomarnos a estas ventanas, es necesaria una preparación adecuada y una adaptación de la inteligencia al nuevo espectáculo, pues nunca la primera percepción de un hecho desconocido conduce a la noción clara de sus entido y significación.

En el caso que nos ha servido de ejemplo, como en toda otra superación de los límites del saber, hemos de apoyarnos en la ciencia construída para los dominios ya alcanzados por el conocimiento; pero ello significa una extrapolación de sus leyes y toda precaución es poca para asegurar el éxito. En efecto, dicha extrapolación lleva aparejado un descenso en el rango de la ley, reducida a la condición de hipótesis de trabajo; utilísima y hasta indispensable como guía para descifrar los nuevos aspectos de la naturaleza, pero desprovista de aquel carácter de necesidad que posee en el campo donde la experiencia, o la observación, la descubrieron o confirmaron. Por esto no es de extrañar que el ensanche de la esfera de la acción intelectual acarree frecuentemente alteraciones de importancia, y hasta cambios radicales, en los mismos postulados de la ciencia que ha permitido escalar los

Proceso de extensión del conocimiento

5

nuevos dominios. He aquí el punto donde se plantea seriamente el grave problema de la posibilidad del conocimiento que señalé al principio, y cuyo examen es la verdadera finalidad perseguida en este artículo.

## II

El estudio de los fenómenos de nuestro mundo, de aquél sometible en todas sus partes al análisis directo de los sentidos, ha creado la Física, única arma con que la inteligencia ataca los mundos fronteros, tanto del lado de lo infinitamente pequeño como de lo infinitamente grande. Comenzaré por el primero que llamaré *mundo atómico*, con un sentido más amplio del que se da hoy a este nombre.

Casi es inútil advertir que voy a referirme al atomismo físico, no a la doctrina filosófica que fundó la escuela de Leucipo y Demócrito, y que continúa aún la disputa con los partidarios de la continuidad. En los días en que se demostró la realidad de aquello que la ciencia actual ha llamado *átomo*, pudo creerse que la doctrina de Demócrito quedaba probada científicamente al cabo de más de veinte siglos; pero desde uno o dos lustros más tarde, si se quiere conservar el sentido que la escuela griega atribuyó al átomo, habría que identificarle con los *protones* y *electrones*, verdaderos elementos integrantes de toda la materia. En tal creencia pueden permanecer aún quienes encuentran satisfacción para su espíritu en semejante concepción, pero bueno es advertir que nunca



ha sido abandonado el sugestivo problema de interpretar los protones y electrones como irregularidades de un todo continuo, cuya misma definición formal no aparece clara. Sin embargo, todo anuncia en los días que corren, la posibilidad de una solución satisfactoria para este problema. Es muy interesante seguir la trayectoria del pensamiento filosófico a través de la evolución de la ciencia, pero sólo nos interesa ahora el atomismo físico, según advertía.

### III

Comenzaré recordando las características esenciales de la prueba experimental de la *molécula física*. Es bien conocido que desde Gassendi y D. Bernoulli hasta Maxwell y Boltzmann, se construyó una teoría, llamada cinética, que logra explicar las propiedades de los flúidos, imaginándoles integrados por partículas pequeñísimas, que gozan de perfecta libertad de movimientos, trasladándose con velocidades enormes, rectilíneamente, hasta que un choque interrumpe la carrera. Dicho se está que la descripción de tal movimiento se hace aceptando, sin la menor corrección, la mecánica de Newton, que es parte de la física de nuestro mundo, y en particular se admite que los choques aludidos se producen como si las moléculas fuesen esferas elásticas.

Razonando así se prueba que en una masa flúida perfectamente aislada, cuyo volumen sea bastante pequeño para despreciar las acciones gravitatorias entre

Proceso de extensión del conocimiento

7

sus diversas partes, la suma de energías de todas las moléculas en un instante determinado, dividida por el número de ellas, da un cociente constante sea cual fuere el momento escogido, dentro de un intervalo en que las condiciones externas a que se halla sometido el fluido permanezcan las mismas. Esta constante es igual a la que se obtendría si siguiésemos una molécula cualquiera durante un período todo él incluido en el intervalo de condiciones invariables, y sumásemos la energía de cada instante, dividiendo luego por la duración del período. Se trata, pues, de una magnitud característica del conjunto de moléculas, a la cual se llama *energía media*, íntimamente ligada a la temperatura del fluido.

Si en vez de limitarnos al valor medio, efectuásemos la estadística completa, hallando la fracción del número de moléculas que posee cada valor de la energía, llegaríamos al siguiente resultado: Muchas tendrían el valor medio definido antes, y el número de aquellas con mayor o menor energía decrece rápidamente, siguiendo una ley perfectamente definida y representada por la llamada *curva de campana* (fig. 1.)

Es evidente que dicha estadística escapa a nuestros medios, porque no podemos llegar a ver las moléculas y seguir las en sus excursiones, para medir sus energías. Pero recordemos que la expresión de esta magnitud es  $\frac{1}{2} m v^2$ , y, por tanto, un mismo valor puede corresponder a partículas de tamaño muy diferente: sin duda, al crecer  $m$  disminuirá  $v^2$  en igual proporción. Se comprende, entonces, que mezclando con el fluido partículas gigantes, al alcance de los medios

de observación de que disponemos (ultramicroscopio), pueda llegarse a comprobar la agitación molecular, con las características de la distribución de la energía que describí antes. En efecto, el botánico inglés Brown descubrió la realidad de este fenómeno antes de que pudiera explicarse correctamente; razón por la cual hubo de considerarlo como una manifestación elemen-

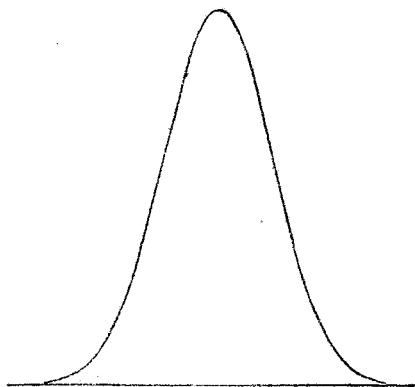


FIG. 1

tal de la vida. Cuando se observan con el microscopio determinadas disoluciones (de goma arábica, por ejemplo), iluminadas lateralmente, aparecen en el campo oscuro un conjunto de puntos brillantes dotados de una agitación irregular, de modo que cada uno describe una línea poligonal sumamente compleja. Esta agitación se llama *movimiento browniano* en recuerdo de su descubridor, y los puntos brillantes son las partículas gigantes que nos permiten comprobar la ley de distribución de la teoría cinética. También en el seno de

los gases se percibe este fenómeno con partículas aún más voluminosas, y se logra igual resultado.

No cabe en el cuadro de este artículo un examen más acabado de estos experimentos. Baste decir que el éxito ha sido completo, no sólo cualitativamente, confirmando la ley de campana en la distribución de la energía, sino determinando la relación numérica entre la energía media, definida más arriba, y la temperatura medida en la escala centígrada. Este cociente (*constante de Boltzmann*) conduce inmediatamente al conocimiento del número de moléculas que integran el gas contenido en un volumen determinado a una presión dada. Por ejemplo, en un centímetro cúbico del aire de Madrid, que pesa 1,2 miligramos, no existen menos de  $2,5 \times 10^{19}$  moléculas, de modo que cada una pesa  $5 \times 10^{-23}$  gramos. Por razonamientos algo más complejos, pero no menos evidentes, admitido que las leyes de la Física, establecidas para nuestro mundo, sean aplicables al movimiento browniano, se deduce que entre moléculas se producen,  $2,2 \cdot 10^{29}$  choques en cada segundo de tiempo, y aún que el diámetro de una, supuestas todas iguales, es del orden de  $10^{-8}$  centímetros.

#### IV

Estos números dan una medida de la ampliación del dominio espacial y temporal del conocimiento, logrado mediante la incorporación a la ciencia del mundo molecular. Por consiguiente, es bueno procurar

una idea clara de su significado, que está muy lejos de aparecer con plena evidencia al enunciarlos. Para el número de moléculas en un centímetro cúbico del aire que respiramos, me valdré de una imagen que he usado varias veces: mil millones de hombres de perspicacia suficiente para verlas, y provistos de instrumentos de delicadeza bastante para cogerlas una a una, invertirían no menos de ochocientos años en la ímproba labor de extraerlas de aquel volumen, supuesto que cada hombre atrape una molécula por segundo de tiempo, sin descansar.

Pasemos ahora al número de choques. Puesto que en los  $2,2 \times 10^{29}$  intervienen todas las  $2,5 \times 10^{19}$  moléculas, y esto de modo que en cada choque participan dos moléculas, fácilmente se ve que una sola chocará con las demás unas 18 mil millones de veces por segundo, y como estos encuentros ocurren sucesivamente, el intervalo en que la molécula se mueve libremente es, por término medio, de 55 billonésimas de segundo. Recordemos que las imágenes persisten en la retina durante media décima de esta unidad, razón por la cual no vemos los cuerpos que se mueven con velocidades grandes, sino que a lo más percibimos su trayectoria. Así, aun suponiendo un hombre dotado de la rara cualidad de ver una sola de las moléculas contenidas en el centímetro cúbico, sólo percibiría una mancha engendrada por la aglomeración de los 900 millones de lados de su trayectoria poligonal en una pequeña parte del centímetro cúbico. Pero la técnica científica moderna dispone de un método para vencer esta dificultad de percepción óptica, que, seguramen-

te, es el origen de la incapacidad de nuestra conciencia para apreciar intervalos muy inferiores al segundo: obtener una película cinematográfica del fenómeno en cuestión, que luego se proyecta con velocidad muy reducida. Por tanto, podemos imaginar un aparato bastante delicado para obtener una cinta del movimiento de nuestra molécula, proyectándola luego con lentitud suficiente para que los choques se sucedan a intervalos por lo menos de media décima de segundo. Fácilmente se ve que la proyección completa requeriría 900 millones de segundos, o sea un período de veintiocho años.

También podríamos decir que una molécula en el aire ambiente sufre tantos choques como tic-tacs da un péndulo de segundos en 570 años.

Consideremos, por último, el diámetro de las moléculas. Si las ensartamos en un hilo, a modo de collar, en un milímetro cabrían diez millones, de modo que obteniendo una ampliación fotográfica en que cada una apareciera como un punto de una décima de milímetro de diámetro, el hilo entero ocuparía un kilómetro.

## V

Creo haber dado con lo que precede una idea clara de la extensión ganada para los dominios de la inteligencia al incorporar el mundo molecular. Se comprenderá ahora mejor el interés que tiene el que se haya logrado sin retocar en lo más mínimo la cons-

trucción de la ciencia. Los postulados que han permitido ordenar los fenómenos de nuestro mundo bastan para interpretar los de este otro, justificando la extrapolación que significa la teoría cinética. Sin embargo, esto no quiere decir que el modo de aplicar la ciencia sea idéntico en los dos órdenes de fenómenos. En el mundo sensible atacamos individualmente los hechos que nos interesan, mientras en el molecular hemos de tratar simultáneamente a la multitud enorme de microfenómenos independientes que producen cualquier efecto aparente. Por ejemplo: el estado físico de una masa gaseosa queda definida por la presión que soporta y la temperatura a que se halla; pero desde el punto de vista molecular, ambas magnitudes son efectos globales del movimiento individual de cada molécula, que es el microfenómeno. Nuestra mecánica se aplica a estos microfenómenos, aunque sólo percibimos el efecto de conjunto, y es notorio que su determinación se hará por métodos diversos que los aplicados en el caso de hallarse el fenómeno individual bajo nuestra inspección inmediata. Métodos diferentes, pero no opuestos, pues sólo cambia el punto de vista en que nos colocamos.

La posición del físico es comparable a la del sociólogo ante los múltiples problemas que plantea la vida colectiva. Como él debe comenzar por una estadística atenta de los hechos individuales, o microfenómenos; pero en los dos casos el método seguido ofrece características esencialmente distintas. El sociólogo conoce los microfenómenos con el detalle que desee, y en cambio encuentra dificultades para tenerlos todos

presentes en el mismo plano a la hora de buscar las leyes generales, que son su problema. Por el contrario, el físico conoce directamente estas leyes e ignora todo cuanto se refiere al movimiento de cada molécula. En estas condiciones es notorio que no pueda hacer una estadística real, sino que ha de suponerla partiendo de la validez hipotética de las leyes de la dinámica para aquellos movimientos, cosa posible gracias al número de moléculas que intervienen en cualquier cantidad apreciable de materia. En efecto, esta última circunstancia permite suponer realizados todos los casos imaginables en número proporcional a la probabilidad de cada uno. Así, en la teoría cinética se admite que la distribución de la energía entre las moléculas es la representada por la curva de campana, y como las leyes macroscópicas que entonces se obtienen coinciden con aquella que la experiencia denuncia, es notorio que cualquier diferencia que exista entre la distribución hipotética y la real cae ciertamente por bajo de las posibilidades de la observación.

## VI

Nótese que al considerar los efectos sensibles como una consecuencia de los microfenómenos que nos escapan, las leyes formuladas para aquellos quedan desvaloradas, pues en lugar del carácter fatal y necesario que les atribuye la ciencia creada para nuestro mundo, quedan reducidas a la de relaciones *más probables* entre las condiciones externas y el estado del



sistema, sin pretender la exclusión de otras posibles que aparecen como casos excepcionales. En la teoría cinética no hay más leyes estrictas que las que rigen los movimientos de las moléculas. Precisamente, uno de sus éxitos más resonantes es la concepción indicada de las leyes macroscópicas, pues gracias a ella han recibido explicación satisfactoria multitud de hechos que caen fuera de las posibilidades de la ciencia. En una masa flúida de dimensiones, no muy grandes, admitimos siempre que su densidad es constante, de modo que ha de comportarse como un todo perfectamente homogéneo y transparente, si no posee absorción selectiva. Esto se admite sin limitación en la ciencia que sólo atiende a los fenómenos perceptibles, mientras la teoría molecular no puede olvidar que semejante aspecto encubre el movimiento de agitación de las moléculas, incompatible con la uniformidad de la masa. En efecto; si consideráramos volúmenes poco mayores que las propias moléculas, situados en lugares fijos de la masa flúida, es notorio que el número de ellas contenido en el mismo instante en cada volumen, variará de uno a otro: aquél donde ocurra un choque contendrá más que aquél donde no se produzca ninguno. Ahora bien; esto equivale a afirmar la falta de uniformidad en la densidad, siquiera, generalmente por bajo de los límites alcanzables por la observación. Pero en circunstancias excepcionales (proximidad del punto crítico), la heterogeneidad se hace aparente, determinando una turbidez del flúido que la experiencia denuncia y que no tiene otra explicación. Un segundo ejemplo en que se manifiesta el fracaso

de las leyes físicas macroscópicas, es el color azul del cielo, también explicado por los métodos estadísticos.

## VII

Acabamos de ver cómo se ha extendido nuestro conocimiento hasta tener la certidumbre de que existen moléculas, consideradas como partículas independientes que integran a los cuerpos por aglomeración más o menos ordenada; y también hemos visto que los movimientos de estas partículas se rigen por las leyes de la dinámica, sin ampliación ni retoque. Llegados a esta altura de conocimientos, leyes macroscópicas bien establecidas, cual las que rigen las combinaciones químicas, llevan inmediatamente a afirmar la existencia de un límite para la divisibilidad de cada cuerpo simple, cuyas últimas partículas intervienen como elemento en las diversas moléculas. Fué lógico que al llegar a esta conclusión se identificaran dichas partículas con los átomos de Demócrito.

Pero si los cuerpos simples y, por tanto, sus átomos, en los cuales debe residir la razón de sus propiedades específicas, son inconfundibles y al parecer indestructibles, no puede olvidarse que ha sido posible clasificarlos racionalmente en el llamado cuadro de Mendeleieff, y esta clasificación significa la existencia de relaciones de parentesco entre los átomos, que no son explicables sino suponiéndolos integrados por elementos comunes que se organizan en su seno

obedeciendo a leyes idénticas para todos. Pasamos con ello al mundo interior del átomo.

No cabe en la extensión de este artículo la exposición detallada de los razonamientos y experimentos que han abierto a nuestro conocimiento las entrañas del átomo. Me limitaré a decir que los elementos únicos que intervienen en él son el *protón* y el *electrón*: el primero es la unidad natural de las cargas positivas, dotada de una masa igual a la del átomo de hidrógeno, y el segundo es, parejamente, la unidad de carga negativa, pero su masa desciende hasta ser 1.845 veces inferior a aquella.

También sabemos que los protones se hallan todos formando parte del *núcleo*, porción pequeñísima del átomo situada en su centro, donde, además, se encierra la totalidad de la masa. Aunque de él son parte también algunos electrones, conserva una carga positiva, que se ha de neutralizar por electrones situados fuera del núcleo, constituyendo la zona cortical.

## VIII

La nueva ampliación obtenida para el dominio de nuestro conocimiento al penetrar esta organización, se aprecia advirtiendo que las dimensiones del núcleo y de los electrones descienden desde el octavo orden decimal, que corresponde al átomo, hasta el doce o trece, que ocupan las cifras con las cuales se expresa numéricamente el radio de aquellos; de modo que imaginando el átomo como una esfera de 100 metros

de diámetro, el núcleo no pasaría del tamaño de una bala de un centímetro, y los electrones serían como perdigones de un milímetro. De otra parte, el período de la revolución que cada uno de estos realiza alrededor del núcleo, es del orden de  $10^{-15}$  segundos; de modo que el intervalo entre dos choques consecutivos de una molécula, con el cual dimos antes idea de la pequeñez de los tiempos que intervienen en los fenómenos moleculares, es suficiente para que los electrones realicen medio millón de revoluciones. Más intuitivamente podríamos decir, que si existiesen en la superficie de estos planetas del mundo atómico seres capaces de considerar el conjunto como nosotros el sistema planetario, los intervalos entre dos choques serían del orden de medio millón de sus años, período comparable a lo que lleva de vida la humanidad. Es decir; que los choques intermoleculares, que en nuestra escala de tiempo son de una frecuencia apenas concebible, mirados desde el punto de vista que corresponde al mundo atómico son tan raros como para nosotros el encuentro de dos astros en el Universo, fenómeno del cual se carece de noticia cierta.

## IX

Rebasadas las fronteras del mundo de nuestras sensaciones directas al integrar los fenómenos moleculares en los dominios de la ciencia clásica, el nuevo ensanche hasta comprender la organización de cada átomo no parece innovación importante. Sin embargo,

precisamente es aquí donde ha fracasado la construcción mental que tuvo antes completo éxito.

Consideremos el átomo de hidrógeno (fig. 2), formado por un solo protón como núcleo a cuyo alrededor gravita un electrón, al modo como lo hace la luna relativamente a la tierra, sujeta por su atracción

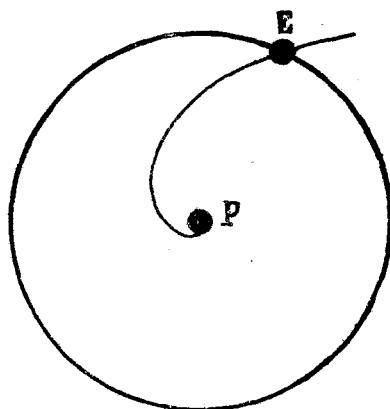


FIG. 2

mutua. La física clásica exige que tal movimiento del electrón vaya acompañado por una pérdida de energía del sistema, en forma de ondas electromagnéticas; de suerte que la órbita elíptica, impuesta por la ley de atracción inversa al cuadrado de la distancia, habría de convertirse en un arco de espiral que conduciría rápidamente al electrón hasta caer sobre el núcleo. De parte del átomo esto significaría su inestabilidad, que es tanto como su inexistencia en clase de cuerpo definido; de parte de la radiación, recogiénola en un prisma habría de producirse una banda luminosa con-

tinua, que en nada se parece a la realidad, pues ejecutado el experimento se obtiene un conjunto discontinuo de luces simples o monocromáticas, las cuales se denuncian como líneas brillantes, distribuidas en el espectro según una ley bien definida pero radicalmente distinta de todo lo que puede explicarse por la ciencia clásica.

Bohr inició el ensayo de ordenación lógica de esta clase de fenómenos, formulando unos postulados que recogen lo esencial de ellos. En uno se afirma la estabilidad del átomo en determinadas configuraciones, en las cuales dicho se está que no existe radiación. En el segundo se provee a la necesidad de este otro fenómeno suponiendo que ocurre mientras el sistema pasa de una configuración a otra, atribuyendo, además, una frecuencia uniforme a toda la radiación, la cual es proporcional a la pérdida de energía que el átomo experimenta por efecto del cambio.

Los dos postulados han permitido crear la espectroscopia como ciencia, pues coordinan la mayoría de los fenómenos en un todo que está lógicamente trabado; pero queda siempre el establecer la conexión del nuevo capítulo con los principios más generales de la Física. El átomo se concibe como sistema dinámico de electrones y es lógico buscar la dependencia de los fenómenos que él produce respecto de las leyes fundamentales de la mecánica y el electromagnetismo.

En tanto no llega la solución de este problema todo lo hecho conserva un valor estrictamente empírico, como los postulados de que se ha partido y todos los principios que se han ido formulando en el

curso del desarrollo de la teoría, sin otra pretensión que generalizar los hechos concretos señalados por la experimentación. Lo grave del caso estriba en que no se trata de que falte un eslabón en la cadena de nuestros conocimientos, sino de una contradicción entre lo que la ciencia prevé y lo descubierto en la realidad exterior. De no tener presente que los fenómenos atómicos y los del mundo macroscópico se desenvuelven en mundos de orden muy diverso, podríamos creernos en un momento de crisis para la teoría del conocimiento. Pero sería grave pecado olvidar que ésta prohíbe la extrapolación de las leyes obtenidas en un dominio concreto, a menos de considerarlas como meras hipótesis de trabajo. Por lo tanto, lo único lógicamente exigible a la física del átomo, que buscamos, será su equivalencia con la del mundo visible, cuando demos a las variables que figuren en las leyes de aquella, valores que correspondan a este último. Esta condición evidente la formuló Bohr en términos precisos, en el llamado *principio de correspondencia*, arma poderosa para la coordinación de los fenómenos a que me referí antes.

## X

El estado de cosas en el capítulo de la Física que nos ocupa, es indicio claro de que no está lejano el día en que demos por resuelto el problema fundamental a que vengo aludiendo. Es más; existen ya dos intentos, que si no satisfacen plenamente la demanda,

*Proceso de extensión del conocimiento*

21

se aproximan mucho. El primero fué llamado por sus autores, Heisenberg, Born y Jordán, *mecánica cuantista*. Yo me inclino a calificarla de solución agnóstica, porque su punto de partida es negar la probabilidad de conocer la intimidad del átomo, en atención a que sus detalles escapan y escaparán a la observación. Percibimos, en cambio, la frecuencia, intensidad y estado de polarización de las radiaciones que emite; de modo que estas magnitudes son las únicas que debemos tratar, prescindiendo de órbitas y períodos, cuya realidad no averiguaremos nunca. Todo el problema se concreta a inventar un algoritmo que permita operar con ellas y obtener así la expresión analítica de los hechos experimentales. Este algoritmo lo han llamado sus autores *cálculo de matrices*, y es de eficacia innegable en muchos casos; pero la negación de todo saber referente a lo que el átomo es, no arrastra ni arrastrará nunca la convicción de los físicos.

De-Broglie y Schrödinger han llamado *mecánica ondulatoria* al segundo intento a que he aludido antes, porque su concepción es a la ciencia clásica del movimiento lo que la teoría de las ondas a la óptica geométrica; de modo que los fenómenos incluidos en la mecánica que fundó Newton, se reducen a efectos perceptibles de una estructura ondulatoria que nos escapa, como el rayo de luz, que definimos por un juego de pantallas y podemos seguir, aún visualmente, mediante diferentes artificios, encubre todo un sistema de ondas que interfieren, anulándose en el espacio exterior al haz visible. Por esto, si hablamos de partículas que se mueven siguiendo trayectorias determina-



das, no será de otro modo que cuando razonamos sobre rayos luminosos al estudiar la marcha de haces de sección muy grande comparada con la longitud de onda. Y así como no podemos seguir usando esta representación si se trata de los definidos por aberturas muy pequeñas, tampoco es utilizable la mecánica clásica para estudiar trayectorias, cuyos rayos de curvatura alcanzan los límites de pequeñez que en las órbitas electrónicas del átomo. Es por tanto esta última ciencia, aún completada por la relatividad, una primera aproximación de la mecánica ondulatoria (*principio de correspondencia*), para la cual los puntos materiales (como el protón y el electrón) se reducen a pequeños volúmenes, en los cuales es apreciable la amplitud resultante de un grupo de ondas, cuyas fases llenan de un modo continuo un cierto intervalo.

Nótese de paso cómo, en la pendulación perenne de la ciencia, volvemos desde el atomismo absoluto, que representan las ideas aún dominantes en el mundo científico, incluso la teoría electrónica, hacia el predominio de la continuidad, que lleva a reducirlo todo a deformaciones y singularidades de una última realidad que acaso sea identificable con el espacio. Sin duda, esta pendulación continúa siendo un avance, y no un retroceso, en el acercamiento a la más perfecta representación de la naturaleza, pero habida cuenta de las concepciones que la mente utiliza, es notorio que continuamos oscilando entre el atomismo y la continuidad.

Esta mecánica ondulatoria de que hablaba, resuelve la mayoría de los problemas que la experiencia ha planteado en la teoría del átomo, borrando el

enigma con que en ella aparecían los números cuantistas; pues los valores excepcionales de la energía que ellos determinan, nos aparecen ahora como los únicos para los cuales admite una solución regular la ecuación de ondas que define los fenómenos atómicos.

Prescindiendo de algunas cuestiones hasta ahora incontestadas, aceptemos sin reserva la mecánica ondulatoria. Pero ¿qué es en ella el átomo? ¿A qué corresponden las agrupaciones electrónicas que desde Bohr han venido precisándose y que todos vemos hoy como realidades imposible de ignorar? Ella sugiere al átomo como un dominio especial, capaz de vibrar con todas las frecuencias ópticas de su espectro, al modo como una esfera elástica admite un conjunto de vibraciones determinadas por su radio. Y como en aquel espectro conocemos una complicada estructura, cuyo primer esbozo es su división en los grupos de líneas que van desde la radiación *K* a la luz ordinaria, hemos de pensar en una complejidad equivalente del átomo, que acaso pudiera esquematizarse suponiendo estratificada la esfera elástica a que me he referido hace un momento. Es un problema que ignoro si ha sido estudiado, y ello no es extraño puesto que los modelos electrónicos de que hoy disponemos pueden seguirse usando, aunque sin considerarles trasunto de la realidad.

Pero ¿qué son estas ondas a que Schrödinger reduce toda la materia? He aquí una pregunta que él no se formula, contentándose con la ecuación clásica que expresa la propagación con velocidad finita de una función cuyo sentido físico ignoramos. El caso no

es muy lejano del que representó la teoría de la luz antes de su traducción al electromagnetismo. Cierto que los físicos de entonces hablaban de las vibraciones del éter, arrastrados por las semejanzas superficiales con el sonido, pero a la hora de concretar su pensamiento se veían obligados a construir un éter que en nada recordaba a la materia. Si de un modo franco y leal no adoptaron el hábito de hablar del sector luz, fué porque volaban aún muy ras de tierra en cuanto a las concepciones físicas.

Si he calificado de intentos de solución del problema fundamental de la ciencia de nuestros días a la mecánica cuantista y a la ondulatoria, dicho se está que he de conceder menos valor al modo como se ha empezado a buscar interpretación física a la función que define analíticamente las ondas de de-Broglie y Schrödinger. Quede apuntada aquí la noticia de su existencia y reservado su estudio para después.

## XI

He venido describiendo cómo la inteligencia ha ido rechazando las fronteras del conocimiento en dirección de lo infinitamente pequeño, y es bueno que fijemos también la atención sobre el proceso equivalente del lado de lo infinitamente grande, que, naturalmente, corresponde en su parte más importante a la esfera del saber encomendada a las ciencias astronómicas. Antes de la invención del antejo pudieron conocerse los datos indispensables para formular una

teoría del sistema planetario, separando los astros que lo integran de las estrellas fijas, siquiera los únicos elementos de juicio fuesen sus movimientos, pues unos y otros los vemos como puntos brillantes. El anteojo con sus perfeccionamientos sucesivos y con la adición de otros instrumentos, como el espectroscopio, la cámara fotográfica, el interferómetro y las celdas fotoeléctricas, ha logrado describir detalladamente la superficie de los astros próximos, como los planetas y el sol; ha extendido el mundo estelar, probando su organización en Universos-isla independientes que nada tienen de común con las caprichosas constelaciones de la vieja Astronomía, fundada por los caldeos y asirios, y hasta ha llegado en algunos casos a fijar los diámetros de algunas estrellas gigantes. Todo esto se ha adquirido por la observación y es, por tanto, mérito del empirismo, pero no ha sido menor el botín recogido por el método racional, haciendo aplicación de las leyes físicas descubiertas en el laboratorio. Muchos de sus resultados escapan de por siempre a la observación directa, bien porque supondría un tiempo que rebasa, no sólo la vida individual, sino períodos históricos que ponen en cuestión la propia de la humanidad, bien porque se refieren al interior de las estrellas. Los hechos previstos y confirmados muestran que la ciencia válida en el mundo sensible no necesita ser modificada para estos menesteres. Si muchos fenómenos van más allá de lo que podamos lograr en el laboratorio, es porque faltan totalmente las condiciones adecuadas: por ejemplo, la magnitud

de las masas que intervienen, los espacios disponibles, la temperatura y presión alcanzadas, etc., etc.

## XII

Veamos lo que significa la extensión lograda en estos dominios del saber. Acabo de decir que el Universo se divide en Universos-isla. Uno de ellos tiene para nosotros particular importancia porque a él pertenecemos; el llamado sistema galáctico, del cual también forman parte todas las estrellas distinguibles a simple vista y muchísimas otras que sólo percibimos a través del anteojo, hasta un número que se estima hoy en 1.500 millones. Fuera de este sistema existen otros muchos; acaso un millón, que parecen ocupar en los cielos espacios pequeñísimos, pues la misma nebulosa en espiral de Andrómeda, notable por su tamaño aparente, puede cubrirse con una moneda de diez céntimos situada a un metro de nuestro ojo. Sin embargo, sus dimensiones reales no se hallan muy por bajo del sistema galáctico, y sólo la lejanía es responsable de su pequeñez.

El apreciar el orden de magnitud de las distancias que separan entre sí a los Universos-isla, no ha sido problema fácil para la Astronomía, pero ya hoy son varios los métodos que conducen a este dato principalísimo. Notoriamente queda descartado el método clásico de la paralaje, sólo aplicable a estrellas cercanas; pero sí es posible el uso de un procedimiento de frecuente empleo para las estrellas dobles. Re-

ciben este nombre parejas de estrellas de tamaño comparable que giran alrededor de su centro de gravedad común. Se puede determinar la velocidad de traslación de cada una, y también su velocidad angular; con estos datos un teorema bien elemental de geometría permite calcular la distancia. Prescindiendo de la extensión de las leyes más fundamentales de la física, no existe en este método hipótesis alguna.

Otros procedimientos llevan también hasta el valor de la incógnita que nos interesa, pero se fundan en supuestos formulados *ad hoc*, siquiera sean perfectamente lógicos. Su valor radica en la coincidencia de los resultados obtenidos de cada uno, separadamente. Como muestra me fijaré en el más sencillo. Es sabido que se llaman *estrellas nuevas*, *astros* que, repentinamente y sin explicación clara hasta hoy, alcanzan un brillo frecuentemente comparable y, a veces, superior a los de mayor magnitud que vemos de ordinario, para apagarse más tarde con relativa lentitud. Estas *Novæ* se producen lo mismo en nuestro sistema galáctico que en los otros universos-isla. Por otra parte, los astrónomos han averiguado que todas las de nuestro sistema alcanzan, por término medio, el mismo brillo absoluto, y si nos parecen de magnitud muy diferente, es porque no distan lo mismo. Generalizando este hecho a otros Universos, como es lógico, si admitimos la identidad del mecanismo de producción, las leyes elementales de la fotometría (el brillo aparente varía en razón inversa del cuadrado de las distancias) permiten averiguar la lejanía de los Universos respectivos.

El resultado de estos métodos lleva a estimar en

un millón de años-luz el promedio de las separaciones de unos a otros Universos. Es decir, que un suceso que ocurra en uno de ellos, cual la aparición de una *Nova*, no llega a noticia de sus vecinos mucho antes de un millón de años; de modo que lo que hoy vemos de esos Universos es la realidad de una época en que, seguramente, no existía la humanidad. Es de notar que tales distancias se hallan mucho más lejos de las dimensiones a nuestra escala que las del mundo del átomo. Tomando como base de comparación el centímetro, podemos formar la progresión

$$10^{24} \quad : \quad 10^{16} \quad : \quad 10^8 \quad : \quad 1 \quad : \quad 10^{-8}$$

(distancia entre Universos)  (centímetro) (radio atómico)

La relación de la distancia entre los Universos al centímetro, es el cubo de la relación del centímetro al radio atómico.

Algo análogo ocurre cuando comparamos los intervalos de tiempo que juegan en los fenómenos sidéreos, en nuestro mundo y en el átomo. Cualquiera de los universos: por ejemplo, el nuestro, se puede considerar como una masa gaseosa cuyas moléculas gigantes, son las estrellas. Lo autoriza el desorden de sus movimientos propios, que casi cumple con la ley de Maxwell-Boltzmann, como las moléculas de un gas. Las pequeñas regularidades que aún existen, proceden de que el sistema galáctico no ha llegado a su estado permanente. De todos modos, Jeans ha calculado el intervalo entre dos encuentros de una misma estrella con otras dos iguales, y aplicando su razonamiento a las que cubran un volumen de radio comparable al de





a él, pero este tipo de universo repugna al pensamiento moderno.

### XIII

Lo más interesante cuando se considera la enorme extensión lograda para el dominio del conocimiento por el estudio del mundo sidéreo, consiste en que, como ya se ha dicho, la ciencia de los fenómenos a nuestra escala no necesita retoque para interpretar estos otros, aunque existen diferencias de monta en el modo de ser aplicada en uno y otro caso. Cuando se trata de movimientos, las masas y velocidades que intervienen son mucho mayores que las manejadas en nuestro mundo; si atendemos a las propiedades de la materia, las presiones y temperaturas en el seno de los astros escapan a nuestra imaginación, así como las cantidades de energía y las cargas eléctricas que en ellos se almacenan. Todo esto conduce a efectos de una complejidad muy superior que para los fenómenos analizados en el laboratorio, aunque no se distinguen esencialmente de ellos. Una masa de gas encerrada en una vasija de vidrio, se define inequívocamente por la temperatura a que se encuentra y la presión que se ejerza sobre un émbolo que cierra la vasija. Mas cuando la masa del gas es la que forma una estrella gigante, a la presión en las porciones centrales, nacida del peso de las capas más altas, se agrega la *presión de la luz* y las fuerzas eléctricas entre los electrones libres y los átomos extenuados por la pérdida de aquellos que provocan

la temperatura. Resulta de aquí una ecuación de estado muy diferente de la obtenida en la física elemental mediante las leyes de Mariotte y Gay Lussac, pero lo fundamental en ellas, los postulados en que nos apoyamos para deducirlas, no modifican en nada la vieja Física. Únicamente pasan a primer plano ciertos términos que en los fenómenos de nuestro mundo tienen escaso interés.

Es típica la importancia que adquiere la relatividad, en su forma general. Todos los fenómenos que se señalan como argumentos en favor de la teoría proceden de la astronomía. Lo mismo la precesión de las órbitas que la desviación de la luz, que el corrimiento de las líneas espectrales, no podrían observarse sin salir de las posibilidades terrestres. Si no se considera con atención esta teoría, se llega fácilmente a concluir que se encuentra en franca oposición con la ciencia clásica, parejamente a lo ocurrido con la física del átomo. Ciertamente, el universo de Minkowski, parece algo esencialmente distinto del espacio y el tiempo independientes, con los cuales nos hallábamos habituados a razonar, y el espacio curvo de Einstein choca con la concepción del espacio euclidiano, que la física de ayer daba como una realidad indiscutible. Pero se trata siempre de diferencias secundarias; en el fondo la ciencia es la misma en ambos casos. Lo prueba el que la teoría de la relatividad, aplicada a casos en que la velocidad tiene valores pequeños, se confunde con la mecánica clásica, y no porque exista simple equivalencia entre ambas, a la manera que ha

de ocurrir con la nueva ciencia del átomo, según exige el principio de correspondencia.

La relatividad aporta a la ciencia una interpretación física de lo que hasta ella permaneció como entidad inexplicada. Me refiero a la gravitación, reemplazada por la estructura del espacio. Esta concepción tiene, además, la virtud de eliminar uno de los problemas cosmológicos de solución más difícil, dentro de las ideas que reinaron con anterioridad a Einstein. Me refiero a la finitud del espacio, que acarreaba la existencia de una frontera real, sin que fuera de ella pudiéramos colocar ninguna cosa. Esta limitación es inconcebible, pero no es más clara la noción de un espacio infinito. La curvatura de Einstein corta el nudo, puesto que la finitud y la carencia de límites dejan de ser incompatibles. Por ejemplo, una superficie esférica es un extensión sin límites y de área finita.

Otros dos problemas parejos con el precedente han preocupado a los filósofos. El primero es el sentido uniforme en el curso del tiempo, que lleva a pensar en un principio y un fin del Universo. Einstein no halló solución para él, y aunque Sitter halla modo de evitar la dificultad, no lo logra sin sacrificar la solución del segundo de los problemas aludidos. Este consiste en la concepción del espacio como cosa distinta del volumen de los cuerpos que lo ocupan. En la ciencia clásica, el espacio es un receptáculo para la materia, con perfecta independencia de ella. Para Einstein, por el contrario, lo engendra la materia misma que ha de contener, y su tamaño, es el necesario

y suficiente para ello. Sitter vuelve a la idea primitiva, restituyendo al espacio una existencia independiente. Acaso sea cuestión de simpatía intelectual la elección del problema que haya de quedar sin solución, pero se me figura que ningún espíritu físico dudará. El sentido uniforme del tiempo es un hecho del cual tenemos experiencia directa; lo inconcebible es que por un avance permanente en el tiempo pueda cerrarse el ciclo de la evolución, a la manera como marchando sobre una estera, se puede volver al punto de partida. Análogamente, el espacio siempre se nos representa como el volumen ocupado por un objeto real. Puede llegarse al concepto de espacio puro por un proceso de abstracción, pero no existe posibilidad de representarnos lo que él sea.

Ateniéndonos a la hipótesis de Einstein se puede calcular el radio medio del Universo dada la cantidad total de materia que en él exista. Aún concretándonos a la parte visible que forman las estrellas, es muy difícil fijar la masa total, y por ello no es extraño que se llegue a números bastantes distintos según el modo de estimarla. Así, hace unos años, se calculó en  $7 \cdot 10^{25}$  centímetros el radio medio de curvatura, tomando por base la densidad de estrellas en el centro de la Vía Láctea, mientras recientemente Hubble utiliza la masa estimada de todo el firmamento conocido y atribuye en consecuencia al radio el valor  $8,5 \times 10^{28}$ .

## XIV

El campo electromagnético es, después de la gravitación, el agente más importante en la producción de los fenómenos físico-químicos. Por consiguiente, es lógico que se procure modo de interpretarlo por la métrica del espacio, paralelamente a como su curvatura da razón del campo gravitatorio. El primer intento en este sentido lo hizo Weyl, eliminando una

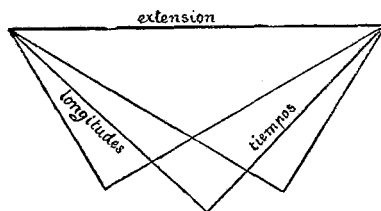


FIG. 3

hipótesis que condiciona aquella métrica hasta un grado que le parece arbitrario. En efecto, Einstein supone la posibilidad de un cierto patrón que conserva este carácter en todo lugar del espacio y en cualquier tiempo; es decir, en la totalidad del universo tetradimensional de Minkowski. No se trata, pues, del metro ni del péndulo de segundos, sino de una combinación de longitud y tiempo que puede servir de base para la medida de la *extensión*. Esta magnitud, para un suceso físico concreto, se deduce de las dimensiones longitudinales y temporales con que aparece a un observador determinado, a la manera como la hipotenusa de un triángulo rectángulo (fig. 3) se ob-

tiene de sus catetos; de modo que en la teoría relativista de Einstein, al pasear este triángulo por el Universo minkowskiano, los catetos pueden variar, pero no la hipotenusa.

Tal es la hipótesis que Weyl repudia, y en su lugar supone que la extensión del suceso (el tamaño de la hipotenusa de nuestra imagen) se determina en cada punto por el *aforo*, nueva entidad que agrega a la curvatura como propiedad intrínseca del complejo de espacio y tiempo, donde ocurren los fenómenos físicos. El sentido de este aforo no es evidente, pero Weyl encuentra una íntima correlación entre sus características racionales y el potencial electromagnético, sin que pueda aducir en favor de su identidad argumentos incontestables. En todo caso fué él quien primero dió al campo electromagnético una interpretación ligada a la métrica del Universo.

London ha precisado muy recientemente esta pre-sunción de Weyl identificando el aforo con la función de onda de Schrödinger (§ 10). Tan recientemente que aún es imposible formular un juicio definitivo respecto del acierto de dicha concepción. Si le fuese favorable tendríamos restablecida la unidad de la ciencia en los vastos dominios a que alcanza el conocimiento.

*B. Cabrera*

A.VI. "LA OBRA DE EINSTEIN FUERA DE LA TEORÍA DE  
LA RELATIVIDAD" (1928)

# La obra de Einstein fuera de la Teoría de la Relatividad

por

B. Cabrera.

---

Trabajo publicado en la "Revista Matemática Hispano-Americana.."



TOLEDO

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO SUCESOR DE J. PELÁEZ

LUCIO, 8 Y 10, TELÉFONO 32

## LA OBRA DE EINSTEIN FUERA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

La teoría de la Relatividad, que ha popularizado el nombre de Einstein, no es su única contribución al progreso de la Física actual. Su genio se ha señalado en los problemas que más preocupan hoy a los investigadores, abriendo nuevas vías a la Ciencia que frecuentemente muestran las características de la intuición.

Siguiendo un orden un poco cronológico en el análisis rápido que debo hacer de la obra no relativista de Einstein, orden que es el que permite su enlace más lógico al propio tiempo que responde a la evolución del pensamiento contemporáneo, comenzaré por la teoría molecular de la materia. El problema que trata de resolver lo heredamos de la Física del pasado siglo, que ya lo recogió de los primeros esbozos de esta ciencia por los filósofos griegos. Entonces y en todos los siglos que se han sucedido hasta nuestros días, los pensadores se distribuyeron entre dos concepciones extremas de la constitución de la materia: su divisibilidad limitada, si no se ha de destruir la propia naturaleza de la especie química que se considere, y la posibilidad de llevar esta división más allá de todo límite, admitiendo la perfecta continuidad de la materia. En algunos momentos ha parecido una de estas concepciones definitivamente vencedora, relegándose la otra a mera curiosidad histórica; en otras, tuvieron ambas partidarios y cultivadores, atribuyéndolas el carácter de meros instrumentos de trabajo justificados por conducir al descubrimiento de nuevos hechos.

Tal era precisamente la posición de la Física al cerrarse el pasado siglo. De una parte la escuela energetista pretendía dar a toda la Física la estructura que poseen, la Geometría desde Euclides y la Mecánica desde Newton: un cierto número de postulados fundamentales, resumen de la experiencia adquirida, sobre los cuales se edifica la ciencia con el mayor rigor lógico.



— 2 —

Los únicos elementos de juicio para valorar tales postulados y sugerir las modificaciones en ellos necesarias, son los éxitos o fracasos de sus predicciones respecto a fenómenos observables. Para esta escuela los átomos y moléculas son nombres que responden a conceptos abstractos y no a realidades físicas.

De otra parte las vagas ideas moleculares de la antigüedad, ya más precisadas por Bernouilli, adquirieron perfecta definición gracias a Maxwell, Boltzman y Gibbs. Toda porción observable de materia se haya integrada por sistemas microscópicos, que son sus moléculas, los cuales se supusieron primero esferas sólidas elásticas mientras hoy se consideran organizaciones cuya *configuración dinámica* exige para ser definida en cada momento el conocimiento de un número no pequeño de parámetros, que no sólo fijan la posición relativa de sus partes, sino también el sentido y rapidez de sus cambios: tal es el sentido que damos a la configuración dinámica. Como además macroscópicamente sólo percibimos el efecto resultante de estos innumerebles sistemas, se ofreció desde el primer momento el problema de averiguar qué relación pueda existir entre el estado del conjunto, al alcance de nuestra observación, y el de cada una de las moléculas.

De dos maneras esencialmente distintas se ha establecido esta relación. Imaginémos primero un casillero cada uno de cuyos compartimentos corresponde a una configuración definida de una molécula; de suerte que todas aquellas para las cuales los parámetros aludidos tienen valores encerrados en los límites

$$q_1, \quad q_2, \quad \dots, \quad q_n;$$

$$q_1 + dq_1, q_2 + dq_2, \dots, q_n + dq_n,$$

serán adscritos a una casilla determinada, representándola en ella por otros tantos puntos. Si ahora efectuamos la estadística de dichos puntos, el resultado será las más de las veces una distribución muy desigual en que la mayoría aparecerá concentrada en un número reducido de casillas que representan estados físicos muy próximos de las moléculas. Evidentemente, en cada caso las propiedades macroscópicas del cuerpo que ellas integran estarán definidas por aquel grupo de casillas.

Pero se puede razonar de otro modo. En el transcurso del tiempo cada molécula evoluciona en virtud de las acciones de

— 3 —

toda clase que sufre; bien por la proximidad de otras moléculas o por los campos exteriores, de modo que los parámetros que varían de un modo continuo y el punto que la representa pasará de una a otra casilla. Si después de un tiempo muy largo se computa la fracción de él que ha permanecido en cada casilla, se obtendrá, como antes, una distribución de dichas permanencias que será muy desigual, con la correspondiente acumulación en un grupo privilegiado que también ahora define el estado de cuerpo. Este segundo método ha sido el escogido por Einstein para relacionar los valores macroscópicos de los parámetros que definen un cuerpo con los correspondientes a las variables propias de las moléculas.

Sin duda el punto de vista molecular no rechaza ni siquiera relega a segundo término los principios de la Termodinámica, fundamento de las teorías energetistas. Sólo pretende darles una explicación física, a la cual contribuyó Einstein con más de una memoria, con cuya ocasión desarrolló el método antes recordado.

Si, pues, las teorías moleculares conducen a los principios fundamentales de la Termodinámica, es evidente que los brillantes éxitos de esta ciencia no pueden ser opuestos a aquel modo de pensar. Ciertamente, fijando la atención sólo en los problemas más resolubles sin otro auxilio que dichos principios, las teorías moleculares parecen introducir una complicación innecesaria; pero existe toda una clase de fenómenos, llamados *fluctuaciones*, que caen completamente fuera de la Termodinámica: mejor dicho, que están en abierta contradicción con ella, y cuya interpretación es inmediata utilizando las repetidas teorías. Estos fenómenos proceden de las irregularidades que ofrece la distribución en el casillero a que me he referido más arriba: de la evidente diferencia que ha de existir entre el hecho fatal que prevé una ley física y el resultado de una estadística de fenómenos producidos al azar, con plena independencia.

Debemos a Einstein la iniciación del estudio de las fluctuaciones en el caso más interesante: el movimiento browniano. Su Teoría le ha llevado a introducir lo que se ha llamado *actividad* de dicho movimiento, definido por el cociente

$$\frac{\xi^2}{\tau}$$

— 4 —

donde  $\xi^2$  es el cuadrado medio de las distancias entre las posiciones sucesivas que ocupa una molécula o partícula a intervalos,  $\tau$ , fijos de tiempo. Su valor es independiente de  $\tau$  y se halla ligado al coeficiente de difusión por la relación sencilla

$$D = \frac{1}{2} \frac{\xi^2}{\tau},$$

o admitiendo la ley de Stokes para el movimiento de una partícula en un medio viscoso de coeficiente  $\mu$ ,

$$\frac{\xi^2}{\tau} = \frac{k T}{3 \pi a \mu},$$

donde  $a$  es el radio de la partícula,  $k$  la constante de los gases referida a una molécula y  $T$  la temperatura absoluta. La exactitud de esta fórmula ha sido ampliamente confirmada por Perrin en las emulsiones líquidas y por Millikan y sus colaboradores cuando se trata de los gases, convirtiéndose en uno de los apoyos más firmes de las teorías moleculares. En particular ha sido uno de los medios más eficaces para determinar el número de Avogadro y el átomo de las cargas eléctricas, sin duda las constantes más fundamentales de la Física, y además, en cuanto a esta última se refiere, ha permitido la prueba concluyente contra la existencia de los supuestos subelectrones de Ehrenhaft.

\*  
\* \*

Los éxitos brillantes que los métodos estadísticos lograron en la teoría molecular de la materia explican que se haya querido aplicarla a los sistemas radiantes en equilibrio con la propia radiación, a pesar de la aparente diversidad de naturaleza de ambos problemas. Y es que las condiciones exigibles por dichos métodos se cumplen para un sistema de ondas encerradas en un recinto limitado por paredes impermeables a la energía, en el cual existan partículas materiales susceptibles de absorber y emitir ondas de todas las frecuencias; de modo análogo a como quedan satisfechas en el caso de las moléculas de un gas contenido en un vaso de paredes elásticas. Al número de estas moléculas comprendidas en un dominio elemental,  $du_1 du_2 du_3$  del diagrama respectivo, corresponden las ondas cuyas frecuencias

— 5 —

caen en el intervalo infinitesimal  $\vec{du}$ , y así como una de las primeras pasa de un dominio  $\vec{du}$  a otro  $\vec{du}'$  por efecto de un choque, también las segundas cambian de  $d\nu$  a  $d\nu'$  por absorción y reemisión consecutiva efectuada por una partícula material.

Por lo tanto cuando de este modo se transportan los métodos de la teoría cinética de los gases a la radiación, se obtiene una ley para la distribución de la energía en el espectro que no corresponde a los resultados experimentales. Aquella prevé un crecimiento continuo de la densidad de energía,  $U$ , con la frecuencia definida por la ley

$$U_\nu = \frac{\nu^3}{c^3} k T,$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz; en tanto la experiencia denuncia una curva con un máximo bien definido, cuya frecuencia cambia con la temperatura, de modo que

$$(\nu/T)_{\text{máx}} = \text{const.}$$

Planck ha encontrado que la expresión

$$U_\nu = \frac{h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h \nu}{kT}} - 1},$$

donde  $h$  es una constante universal, traduce fielmente las medidas realizadas hasta hoy, aunque a ella llegó introduciendo una hipótesis que choca con toda la ciencia elaborada. Esta hipótesis consiste en admitir que los cambios de energía por absorción y emisión, que antes comparé con las modificaciones bruscas de velocidad de las moléculas por los choques, no corresponden a valores cualesquiera de dicha energía, sino a múltiplos exactos de  $h\nu$ , denominado *cuanto de energía* para la frecuencia  $\nu$ .

No encaja en la finalidad de este trabajo el análisis del problema que plantea el éxito innegable de la teoría de los cuantos para la interpretación de muchos fenómenos en que interviene la materia y la radiación, y aun la primera sola, a pesar de la imposibilidad de construirla con el rigor lógico a que nos tiene habituados la Física matemática.

La circunstancia señalada justifica el que se deje una cierta libertad a la intuición, dentro del capítulo de la Ciencia en que me ocupo, y aún autoriza a sostener puntos de vista completamente contradictorios sobre la naturaleza de la energía radiante, buscando en cada caso los más favorables para la interpretación de los fenómenos estudiados. Así, Einstein llega hasta dar a los cuantos de energía de Planck un sentido más real que su autor, suponiendo que poseen una individualidad bien definida, ni más ni menos que los átomos materiales, aunque su naturaleza sea profundamente diversa. A ello le lleva la estrecha analogía formal entre las ecuaciones que definen las entropías de la radiación y de una masa de gas.

En seguida vamos a ver cómo esta hipótesis de los *cuantos de luz* permite una interpretación clara de varios fenómenos a primera vista inconexos, pero antes conviene advertir que es incompatible con las interferencias, que han sido la base de la teoría ondulatoria clásica. En efecto, parece hoy fuera de duda la necesidad de que las ondas que interfieren sean coherentes, de donde se deriva que un cuanto ha de ocupar un volumen cuyas dimensiones en cada dirección pueden ser del orden de algunos metros, pues alcanzan a tanto las diferencias de marcha en los experimentos clásicos para la medida del metro en longitudes de onda, y la separación de los dos rayos que toma Michelson de la onda procedente de una estrella para determinar su paralaje por la interferencia entre ambos. A pesar de esta enorme extensión comparada con el tamaño de un átomo, hoy al menos, estamos obligados a considerar los procesos de absorción y emisión de estos cuantos como un acto indivisible.

No es menester más para comprender que el estado de nuestros conocimientos exige que conservemos la teoría ondulatoria clásica para todos los fenómenos de propagación de energía electromagnética, sea en forma de luz ordinaria o de rayos  $X$  o  $\gamma$ . Por el contrario, cuando se trata de los cambios de energía entre la materia y la radiación, ya sea absorción o emisión de esta última, y con independencia de la frecuencia, es necesario acudir a la teoría de los cuantos.

Apesar de la conclusión a que he llegado en el párrafo anterior, conviene recordar los corolarios principales que Einstein dedujo de su hipótesis de los cuantos de luz, los cuales se refieren siempre a fenómenos de absorción o emisión, y por tanto,

- 7 -

pueden considerarse como pruebas empíricas de la teoría cuantista, pero es innegable que en la hipótesis de Einstein son verdaderos teoremas.

Si siguiendo el orden en que su autor ha expuesto sus corolarios, comenzaré por la explicación de la ley Stokes, según la cual las radiaciones excitadas por fluorescencia poseen una longitud de onda por lo menos igual a la de la radiación excitante. En efecto; es natural interpretar la fluorescencia imaginando que la luz provoca el paso de la molécula química desde su estado inicial  $A$  a otro  $B$ , mediante la absorción del cuanto  $h\nu_n$  de luz excitante, cuyo estado  $B$  a su vez se transforma en un segundo  $A$ , perdiendo energía en forma de nuevas radiaciones y en cantidad igual a  $h\nu_m$ . La estabilidad de la molécula en su estructura primitiva y el principio de conservación exigen que

$$h\nu_m \geq h\nu_n$$

o

$$\nu_m \geq \nu_n.$$

Bien mirado el signo = corresponde a la simple dispersión, de modo que en la fluorescencia  $\nu_m > \nu_n$  o  $\lambda_m < \lambda_n$ .

El segundo colorario de Einstein es la ley

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - P,$$

que expresa la relación entre la energía de los fotoelectrones y la frecuencia de la luz excitante  $\nu$ . En efecto; el cuanto  $h\nu$  absorbido, debe invertirse en realizar el trabajo necesario para vencer las resistencias que se oponen a la libertad del electrón, y el resto en comunicarle la velocidad  $v$ . Esta ley, que de modo cualitativo encontraron todos los investigadores que estudiaron la fotoelectricidad, ha recibido su más brillante comprobación para la luz ordinaria en los experimentos de Millikan; y para los rayos X y  $\gamma$ , mediante los de Rutherford y de Broglie, por no citar si no los que han iniciado este orden de trabajos.

La ley precedente sugiere la posibilidad de otra análoga para el fenómeno inverso. Cuando se lanza una corriente de electrones sobre un obstáculo, como el anticatodo de un tubo Roentgen, es sabido que se engendran los rayos X. Según la ley

-- 8 --

aludida, la frecuencia de los mismos debe estar definida por la ecuación

$$\frac{1}{2} m v^2 - Q = h \nu$$

siendo  $Q$  la fracción de energía que los electrones conservan después del choque, la cual puede variar desde cero hasta el valor del primer término. Por consiguiente, la frecuencia de los rayos estará bruscamente limitada del lado de sus valores altos, hecho que los experimentos de Duane, D. L. Webster y Wagner han probado hallando, además, que el valor de  $h$  es el mismo que para la ley del efecto fotoeléctrico.

El último corolario de la hipótesis de los cuantos de luz, fué la interpretación de otro fenómeno que había preocupado anteriormente a Lenard y J. J. Thomson. Es sabido que las ondas cortas (luz ultravioleta y rayos X o  $\gamma$ ) tienen la propiedad de ionizar los gases. En la hipótesis de las ondas esféricas, parece lógico suponer que todas o un número muy grande de las moléculas barridas por la onda debieran ionizarse, mientras la experiencia demuestra que la fracción ionizada es pequeñísima. Evidentemente la discontinuidad de la luz salva esta dificultad.

No son éstos los únicos argumentos que abonan la manera de pensar de Einstein. respecto de la discontinuidad de la luz misma, y ello explica que conserve invariable la fe en la exactitud de su hipótesis, no obstante las dificultades a que ya me he referido. Su preocupación de resolver el problema en cuestión, es permanente, a pesar del continuado fracaso. Acaso se trate de una visión genial cuya confirmación esté reservada a un porvenir aún remoto.

\*  
\* \*

Einstein ha extendido la teoría de los cuantos a otros fenómenos a primera vista muy distantes de los producidos por la energía radiante a que últimamente me he referido. Aludo a los cambios de energía entre las moléculas de los cuerpos en que se apoya la teoría de los calores específicos. La teoría cinética clásica, de que ya me he ocupado, conduce al principio de equipartición de la energía entre los diferentes grados de libertad de las moléculas, del cual es corolario inmediato la constancia del

- 9 -

calor atómico para la materia en los estados gaseoso y sólido. Pero es el caso que experimentos ya antiguos de Weber probaron que en el diamante al menos, el valor real de dicha magnitud es muy inferior a la constante teórica, resultado comprobado y generalizado por todos los estudios modernos. Para salvar esta dificultad, Einstein supone que la hipótesis de los cuantos se aplica a los cambios de energía en los encuentros de las moléculas. De este modo llega para el calor específico a la ley

$$C_a = 3kN \frac{e^{\frac{h\nu}{kT}} \left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)^2}$$

Sometida a la comprobación experimental se reconoció que define perfectamente la ley general del fenómeno. Las pequeñas diferencias entre la teoría y la experiencia no son bastantes notables para requerir una modificación esencial en el razonamiento. Basta cambiar las hipótesis auxiliares, camino por el cual Debye, primero, y más tarde Karman y Bohr, han perfeccionado considerablemente la teoría de Einstein.

\* \*

Volviendo nuestra atención a la ley fotoeléctrica, no parece excesivo afirmar que ha pasado a ser la base más firme de la teoría general de los cuantos. Es difícil librarse de considerarla como el origen lógico de uno de los postulados que han servido a Bohr para edificar su teoría de los espectros, gracias a la cual se interpretan de modo preciso las relaciones que la experiencia ha descubierto entre la radiación emitida por un átomo y la energía con que se le exita (en el caso más sencillo por la percusión de un electrón en movimiento); y, recíprocamente, entre la energía con que los electrones son lanzados de su seno y las características de la radiación absorbida.

Pero si se percibe sin dificultad el parentesco del postulado aludido de Bohr con la ley de Einstein, es evidente que este último parece inspirado en aquella teoría para formular su nueva deducción de la fórmula de Planck referente a la distribución de la energía en el espectro, librándola de las dificulta-



— 10 —

des lógicas que abundaban en el razonamiento de su autor. Einstein utiliza como primer postulado la hipótesis de que las moléculas materiales, sea cual fuere su constitución, pueden adoptar una serie de conformaciones estacionarias definidas por un valor determinado de su energía,  $E_1, E_2, \dots, E_l, \dots$ , de modo que al pasar de una a otra ha de absorber o emitir, según los casos, la diferencia  $E_m - E_n$  de sus energías características, la cual se manifiesta siempre como radiación. Por lo demás, según Einstein, la transformación de una configuración en otra de menos energía es el resultado de un proceso interno que ignoramos, pero como en el caso de las sustancias radiactivas podemos cubrir esta ignorancia aplicando los métodos de la Mecánica estadística. Ellos nos dan para el número de moléculas que sufren la transformación  $m \rightarrow n$  en el tiempo  $dt$  una expresión de la forma

$$p_m e^{-\frac{E_m}{kT}} dt.$$

El mecanismo de absorción depende de las relaciones de fase entre los movimientos que se producen en la molécula y la radiación que la encuentra, y de acuerdo con la teoría clásica puede producirse una verdadera absorción, o sea un incremento de la energía desde  $E_n$  a  $E_m$ , o una absorción negativa, que es físicamente una emisión, disminuyendo la energía desde  $E_m$  a  $E_n$ . También estos cambios se rigen por leyes semejantes a la anterior, y en definitiva la intensidad de la radiación de frecuencia  $\nu$  viene determinada por la expresión

$$\rho_\nu = \frac{a_{mn}}{e^{\frac{E_m - E_n}{kT}} - 1}$$

y si se tiene en cuenta que la ley general del corrimiento de Wien exige que la forma de  $\rho_\nu$  sea

$$\rho_\nu = \frac{\nu^3}{c^3} F\left(\frac{\nu}{T}\right);$$

$a_{mn}$  debe ser proporcional a  $\nu^3$  y  $E_m - E_n$  a  $\nu$ , o sea,  $E_m - E_n = h\nu$ .

Tal es una de las aportaciones más brillantes de Einstein a la Ciencia física de nuestros días. Antes de abandonar este asunto, debemos señalar la analogía de las ideas precedentes con otras vertidas poco tiempo después, pero sin duda concebidas independientemente, por J. Perrin y W. C. McC. Lewis. En ellas se atribuye a la radiación el papel de agente provocador de las reacciones químicas de todo género, y se llega a la propia fórmula de Planck por un razonamiento paralelo al precedente. No podemos decir que se trate de la misma idea ya que la posibilidad de una transformación espontánea del edificio molecular o atómico susceptible de varias configuraciones estacionarias parece repugnar a Perrin, o por lo menos no juega en sus razonamientos un papel tan fundamental como en los de Einstein. Por esto aquél se ve obligado a suponer la preexistencia de una radiación ultra-X, a caso procedente de los poderosos laboratorios naturales que son las regiones centrales de los cuerpos celestes condensados, tanto soles como planetas, con el fin de interpretar las transformaciones radiactivas como simples fenómenos químicos. En cambio el punto de vista de Einstein hace innecesarias estas radiaciones conformándose con reconocer una vez más la existencia de un mundo mecánico ignorado que se manifiesta en las transformaciones radiactivas cuando se trata del núcleo atómico, y en los cambios monomoleculares supuestos por Einstein, si éstos afectan sólo a la capa cortical del átomo.

Otros varios importantes problemas de la Física han merecido la atención de Einstein, pero no podemos pretender el dar aquí un análisis completo de su obra, que exigiría un espacio mucho más amplio. Para el lector curioso puede bastarle la relación de sus trabajos publicados en otro lugar de este número.

---

A.VII. "LOS MUNDOS HABITABLES" (1929)

BLAS CABRERA

# LOS MUNDOS HABITABLES

(Artículo publicado en la *Revista  
de Occidente*. N.º LXXVIII.  
Diciembre 1929.)

*Revista de Occidente*  
*Madrid*  
1930

# Los mundos habitables

(Notas al margen de algunos libros modernos de Cosmogonía.)

**E**XISTEN problemas que han permanecido siempre en el panorama de la ciencia, siquiera tratados de diverso modo, según el desarrollo y tendencia de la cultura de cada época; tan pronto estimados temas perfectamente accesibles al saber, como objetivos lejanos, inabordables por los métodos disponibles. Esto explica por qué sólo de tarde en tarde son tratados en forma concreta y con aspiraciones de esclarecer, al menos, el sentido de la solución.

Los grandes y eternos interrogantes de la Cosmogonía pertenecen a este grupo. En verdad constituyen el problema último de las ciencias de la Naturaleza. Desde los más remotos orígenes de la cultura aparecen los primeros vestigios de concepciones, relativas al principio y al fin del mundo, que si hoy las juzgamos pueriles no hay duda de que exigieron de sus autores un esfuerzo mental casi tan grande como las teorías más concretas de nuestros días. Sus orí-

nes fueron puramente sentimentales, sin aportación apreciable de la ciencia, que iba ensanchando nuestro conocimiento de la Naturaleza. De una u otra manera, el mundo se consideraba como una obra divina, que lo dejó en la forma en que hoy le contemplamos, sin que ninguna de estas cosmogonías se preocupara gran cosa de la evolución del Universo ni de su terminación.

Y, sin embargo, la eternidad es una de las ideas que exigen mayor esfuerzo mental para ser comprendida. Cuanto nos rodea invita a pensar que todas las cosas tienen un principio y un fin; ley de la que no puede escapar el conjunto de ellas. La quietud absoluta, de que sería ejemplo un mundo inmutable, sólo se concibe atribuyendo lentitud creciente a la evolución.

Son de este tipo todos los intentos cosmogónicos anteriores a Kant y Laplace, que ya pudieron aprovechar el saber físico y astronómico acumulado hasta mediados y fines del siglo XVIII. Ya por entonces nuestro planeta había quedado reducido al modesto papel que le corresponde como compañero mediocre del Sol. Cada estrella, en cambio, había alcanzado a los ojos del mundo sabio el rango de sol lejano, comparable y muchas veces superior al nuestro, seguramente como él rodeado de una cohorte de planetas, a los cuales no era mucho atrevimiento atribuirles características semejantes a las de nuestros vecinos.

A la soberbia humana reflejada en el antropocentrismo primitivo que subordinó la Naturaleza al interés del hombre; que consideró la Tierra como centro

del Universo, por servirle de habitación; que atribuyó al Sol y a la Luna la humilde misión de iluminar el escenario de nuestra vida, sucedió una valoración del papel humano en el Universo proporcionada a la importancia de la Tierra entre los demás astros. Lógicamente se pensó en que todos o muchos de los planetas, reales o supuestos, sostienen una vida comparable a la terrestre, coronada también por seres que han alcanzado y aun superado el nivel intelectual de la humanidad. Así surgió la apasionante cuestión de la pluralidad de los mundos habitados, que aspiramos a analizar en este artículo.

Sin duda, supuesta la existencia de otros astros en condiciones muy próximas a las terrestres, es necesario concluir la probabilidad de que se hallen habitados por seres inteligentes, de características no muy distintas del hombre. Va aquí implícita la aceptación del determinismo riguroso que es esencial a la física. Hasta hace unos años tal declaración hubiese sido superflua, pero las nuevas orientaciones de esta misma ciencia obligan ahora a examinar la cuestión un poco de cerca para evitar lamentables confusiones.

Heisenberg señaló la imposibilidad de *conocer* con precisión rigurosa los procesos naturales, porque al observarlos intervenimos en ellos, influyendo en su curso en proporción mínima, pero finita. Finita en el sentido que atribuye a este término la matemática; es decir, no porque su magnitud sea apreciable para los métodos de observación, sino porque es superior a un cierto límite predeterminado. Por ello dicha indeter-

minación no afecta gran cosa al orden de los fenómenos regidos por las leyes clásicas de la física, no obstante su importancia fundamental desde el punto de vista filosófico. La simple consideración de que tales leyes han sido descubiertas y repetidamente confirmadas, elimina la duda racional respecto a su aplicación al caso que nos interesa. Así se justifica que se tenga a un astro por habitable para una vida inteligente, no muy distante de la humana, si reúne condiciones comparables a las de la Tierra.

\*

El verdadero problema estriba en apreciar hasta qué punto es real la reproducción frecuente de estas condiciones. Una solución justa, o al menos con probabilidad grande de acierto, exige un estudio atento de lo que sea dable considerar «condiciones comparables», y para ello debe comenzarse por establecer los límites que encierran las posibilidades de la *vida*. No es necesario averiguar qué sea la vida, pero sí lo que requiere de los materiales que la soportan. Pronto se ha llegado a reconocer que la característica fundamental de los seres vivos es la *movilidad* espontánea, entendido el término con la máxima amplitud, y ello exige que las moléculas de que están integrados sean fácilmente transformables y de pequeña estabilidad. Los compuestos de rigidez grande pueden ser últimos términos de una serie de cuerpos, que los organismos vivos eliminan como inútiles y hasta perjudiciales; pero jamás intervienen como eslabones

en la cadena de especies químicas elaboradas por ellos. Aun el organismo de los animales superiores carece de posibilidad normal para realizar operaciones que en nuestros laboratorios son fáciles y permiten la transformación de las especies químicas más estables.

En términos generales, la estabilidad limitada que la vida exige es atributo de las moléculas más complejas, y, en efecto, son las albúminas los principales constituyentes de las células, siguiéndoles en orden de importancia los hidratos de carbono y las grasas. Ciertamente que del 60 al 80 por 100 de la masa de cualquier ser vivo corresponde al agua, cantidad que a veces llega al 90 por 100; pero su papel se limita a servir de soporte a las moléculas dichas y a las pocas inorgánicas que también intervienen, bien constituyendo soluciones perfectas o suspensiones coloidales. De este modo se facilita la movilidad de dichas moléculas y con ella su transformación, llevándolas al lugar adecuado.

Es cosa hoy averiguada que toda la materia está integrada por electrones y protones, porciones últimas de las cargas eléctricas negativa y positiva, de magnitud definida, no sólo eléctricamente, sino en su masa y dimensiones. Los últimos, junto con un número reducido de electrones, integran los llamados núcleos atómicos, con la carga positiva no compensada. Las fuerzas que en esta unión intervienen son aún oscuras, pero si partimos de dichos núcleos y los electrones para interpretar la organización general de la materia, podemos lograrlo con la sola intervención de las fuerzas de Coulomb y de Ampère. Con aque-



llos elementos materiales y estas fuerzas, obedeciendo los postulados y leyes fundamentales de la nueva mecánica, se constituyen primeramente los átomos, a manera de sistemas planetarios en los cuales el Sol es el núcleo, mientras los planetas están representados por los electrones. Más tarde, siempre mediante las fuerzas citadas y de conformidad con los postulados aludidos, se integran las moléculas más sencillas, y unos y otras siguen el proceso de agrupación en sistemas de complejidad creciente hasta los cuerpos celestes. Durante esta evolución progresiva, la mecánica que rige la organización se aproxima y confunde con la mecánica clásica, que Newton construyó para explicar los fenómenos de movimiento directamente observable.

Todos estos sistemas pueden adoptar una serie discontinua de configuraciones de equilibrio, caracterizadas por la energía liberada al constituirse:  $E_1, E_2, \dots, E_n$ ; de modo que el tránsito de uno a otro estado va acompañado de la emisión o absorción de las diferencias

$$\Delta E_{ij} = E_i - E_j.$$

Se trata de un hecho general, pero la magnitud de esta diferencia disminuye cuando aumenta la complejidad del sistema. Grande en los átomos, y también en las moléculas más simples, alcanza valores menores en las especies químicas que la vida utiliza más normalmente. Y gracias a la pequeñez de estos cambios de energía es ella posible.

En efecto, las reacciones en cuestión pueden liberar energía o absorberla. En el primer supuesto, si la cantidad de energía fuese grande, podría destruir las moléculas próximas de estabilidad pequeña, y en el segundo son necesarias fuentes de energía abundante, incompatibles con la sencillez estructural de la célula. Puede decirse que el mecanismo normal por cuya intervención se libera a la célula de la energía que producen las reacciones endotérmicas, o se le suministra la necesaria para las exotérmicas, es el movimiento de agitación molecular que mide la temperatura. Cuando ésta crece aumenta la rapidez de aquél y, por tanto, la violencia de los choques, causantes directos de las reacciones, en cuanto rebasan un cierto dintel. Si, por otra parte, excede de un segundo límite superior, destruye la molécula más inestable que intervenga en el choque. Se comprende así que la vida no sea posible fuera de un pequeño intervalo de temperaturas que desciende poco de  $0^{\circ}$  y apenas alcanza los  $60^{\circ}$  u  $80^{\circ}$ . En los seres más rudimentarios se pueden rebasar un poco estos límites, y aun en ciertos casos conservan la capacidad de revivir cuando se vuelve a las condiciones adecuadas rebasadas por algún tiempo; pero, una y otra cosa, en proporción muy distinta para las temperaturas altas y para las bajas. Es bien sabido, por ejemplo, que la temperatura de ebullición del agua basta para destruir la mayoría de los gérmenes patógenos. En cambio, las temperaturas bajas son compatibles con la vida latente de individuos relativamente altos en la serie animal. Algunos artrópodos y moluscos pueden re-

sistir hasta  $-50^{\circ}$  y  $-120^{\circ}$ , y las esporas de bacterias han revivido después de enfriadas a  $-200^{\circ}$  y  $-252^{\circ}$ .

En definitiva, y esto es lo importante, la vida exige una temperatura comprendida entre límites tanto más estrechos cuanto más elevados los seres en que ella se realiza, y que, en todo caso, limitan un intervalo de algunas decenas de grados alrededor de  $20^{\circ}$  o  $30^{\circ}$  C. Por otra parte, su evolución hasta llegar al estado en que hoy la vemos sobre nuestro planeta, no es la obra de un período corto, sino que ha exigido millones, probablemente centenares de millones de años. Es, pues, indispensable imaginar las condiciones precedentes sostenidas, sin cambio apreciable, durante tiempos comparables o superiores a éste.

Otras condiciones juegan también un papel importante, aunque no tan definido como la temperatura. La presión del medio ambiente es indispensable, pero puede alterarse dentro de límites muy extensos sin que la vida desaparezca por completo. En estado latente, se ha pensado por Arrhenius, no sin fundamento, según se ha visto, que, en el caso de esporas completamente desecadas, puede conservarse en los mismos espacios interplanetarios, y de otra parte, la vida abisal se desenvuelve a presiones medidas por centenares de atmósferas. Sin embargo, la vida actual exige un envolvente gaseoso de composición adecuada, circunstancia que limita el valor inferior de la presión. El elemento indispensable parece ser el oxígeno, aunque la existencia de las bacterias anaerobias su-

giere la posibilidad de una vida rudimentaria sin utilizarle directamente.

Afirmar la necesidad de una atmósfera, significa que la masa del astro en que la vida se desarrolla es bastante grande para impedir que la expansión de los gases les obligue a escapar de su atracción. En los casos de la Luna y Mercurio tal condición no se cumple, de modo que uno y otro se reducen a una masa sólida. Cualquiera líquido escaparía rápidamente, puesto que nada retiene a sus vapores.

La atmósfera desempeña también una misión protectora contra la radiación solar. Es ella indispensable para la vida toda, porque calienta la superficie de nuestro planeta hasta la temperatura conveniente, y también asegura la posibilidad de ciertas funciones necesarias para el desarrollo que la evolución orgánica ha logrado; pero si toda la luz que llega a las capas superiores de la atmósfera pudiese penetrar hasta la superficie habitada, destruiría en poco tiempo a la totalidad de sus pobladores. Los efectos purificadores de la radiación ultravioleta son bien conocidos, y ellos constituyen una clara prueba de su acción mortífera sobre los seres vivos menos dotados de defensas. Sin el filtro atmosférico que elimina, cuidadosamente, sus rayos más destructores, el Sol se convertiría en temible enemigo de la vida. La eficacia de dicho filtro procede tanto de la cantidad de gas que la atracción retiene, como de su composición química, que no es una consecuencia necesaria de aquélla.

\*

Supuestas ya definidas las condiciones indispensables que ha de llenar un astro habitable, queda por averiguar cuáles las cumplen, o, al menos, el grado de probabilidad de encontrarlas realizadas. La solución estricta del problema no es fácil buscarla más allá de nuestro sistema planetario. Veremos en seguida que en cuanto salimos de él nos vemos forzados a aceptar puras estimaciones del grado de probabilidad.

Comencemos por la Luna, cuya distancia es bastante pequeña para que los anteojos y telescopios modernos den su imagen detallada. La carencia absoluta o casi absoluta de atmósfera, y aun de líquidos con tensión de vapor apreciable, permite afirmar que en ella no existe ni la vida más rudimentaria, y es casi seguro que no la hubo nunca. En circunstancias análogas se halla Mercurio, también desprovisto de atmósfera y de superficie totalmente solidificada. La responsabilidad la comparten su escasa masa (tres décimas que la Tierra) y la proximidad del Sol, que eleva su temperatura media a algunos centenares de grados. Su rotación ha sido muy discutida y aún la ignoramos, pero, de todos modos, de los cambios de dicha temperatura con la fracción de superficie iluminada se deduce que el cambio a lo largo del ecuador, entre la parte a plena luz y la oscura, no es inferior a 200 o 300 grados. Es notorio que ninguna de estas condiciones es compatible con la vida.

Las condiciones en Venus son ya totalmente distintas. Su mayor tamaño, comparable al de la Tierra, y la mayor distancia del Sol, le han permitido retener una atmósfera de 80 a 100 kilómetros de al-

tura, más densa que la nuestra, pero en la cual no ha sido posible denunciar oxígeno ni vapor de agua. Ciertamente ello no demuestra que no existan estos gases en Venus, sino que no alcanzan a la altura que puede ser analizada con los métodos actuales. El examen de la superficie de este planeta, a pesar de ser nuestro vecino más inmediato, ofrece dificultades grandes, porque cuando está más próximo nos muestra su hemisferio en sombras. Ello explica las discusiones acerca de la presencia de manchas que correspondan a la distribución en mares y continentes, y también de casquetes polares helados. La opinión actual de los especialistas parece completamente favorable a estos últimos, pero el resto de la superficie no muestra señales claras que interrumpen la uniformidad, hasta el punto de que su rotación dista mucho de ser un problema resuelto, aunque todo indica que sus días abarcan semanas de las nuestras. Caben dos explicaciones de dicha uniformidad: o suponer que existe una cubierta de nubes bajas que ocultan la faz sólida o líquida del planeta; o que se halla cubierta de agua. La primera se conforma mejor a nuestras presunciones naturales, pero la segunda no es totalmente despreciable. De todas suertes, y habida también cuenta de que la temperatura media del hemisferio iluminado oscila entre  $50^{\circ}$  y  $60^{\circ}$ , mientras el oscuro no difiere mucho de  $0^{\circ}$ , no es posible admitir que la vida en este planeta rebase el estado que debió corresponder a edades muy lejanas de la Tierra, probablemente anteriores a la época en que una vegetación exuberante purificó su atmósfera.

A la Tierra sigue Marte, de masa aún menor que Mercurio, pues apenas es la décima parte de nuestro planeta. Sin embargo, conserva una atmósfera que contiene oxígeno y agua en cantidades mínimas, comparables al contenido en nuestra atmósfera a unos 10 kilómetros de altura. Aunque algo más lejos de la Tierra que Venus, la circunstancia de ser exterior a la órbita terrestre permite que se le observe a la distancia mínima y puedan reconocerse detalles interesantes de la superficie. Se descubren en ella manchas enigmáticas, grises y ocres, que se han llamado *mares* y *continentes*, nombres a los cuales sería erróneo aplicarles el sentido estricto de estas palabras en la Tierra. Si hubiese masas de agua del área de los *mares*, veríamos el Sol reflejado en ellos con brillo semejante a una estrella, según ya hace bastantes años indicó H. D. Taylor.

Además de estas manchas que han permitido fijar la rotación diurna, tanto en la posición del eje como en su duración, algo mayor que nuestro día (41 minutos más), se perciben claramente manchas blancas en los casquetes polares, que avanzan en el invierno hasta los 50° de latitud y se retiran en el verano a una pequeña región alrededor del Polo, dejando en su lugar una mancha gris. La velocidad del crecimiento y desaparición llega en ocasiones hasta los 100 kilómetros por día. La semejanza con nuestro planeta lleva a pensar en hielos polares, pero, seguramente, en capa de tan débil espesor que la radiación solar puede fundirla rápidamente. La presencia de agua en cantidades no grandes, se reconoce también por la forma-

ción de nubes movibles, sin duda arrastradas por las corrientes atmosféricas, quizá más regulares que las terrestres.

El alejamiento del Sol hace que la temperatura superficial de Marte sea bastante menor que la disfrutada en nuestro planeta. En el ecuador, por ejemplo, aunque las regiones directamente iluminadas lleguen en las proximidades del perihelio a los  $20^{\circ}$ , la temperatura media no rebasa los  $-3^{\circ}$ , y en los polos desciende por bajo de  $-60^{\circ}$ . No podemos considerar a Marte como estación de clima apacible, tanto más cuanto que los efectos perjudiciales de la distancia al Sol se agravan por la gran excentricidad de su órbita, que produce un cambio en aquélla, desde la máxima proximidad al mayor alejamiento, de casi un tercio del radio de la órbita terrestre. Agregaré que la escasa densidad de su atmósfera deja a la superficie sin defensa contra la radiación ultravioleta, que perjudica a los seres vivos. Si algunos quedan, es muy probable que pertenezcan a las formas más primitivas, ya como último resto de una vida más lograda en pretéritas edades, o como límite superior alcanzado en ella.

Más allá de Marte es el reino de los planetas gigantes: Júpiter, Saturno y también Urano y Neptuno. Se distinguen por su pequeña densidad y gran masa, que obliga a pensar en que una parte notable persiste en forma gaseosa. Sin embargo, su temperatura superficial depende poco del calor interno, pues los valores medidos difieren escasamente de los calculables por la energía que el Sol les envía. Así,



por el primer procedimiento se ha encontrado: Júpiter —  $120^\circ$ , Saturno —  $150^\circ$  y Urano —  $185^\circ$ ; y en cuanto a los valores calculados, discrepan poco de aquéllos (Júpiter —  $145^\circ$ , Saturno —  $100^\circ$ , Urano —  $207^\circ$  y Neptuno —  $227^\circ$ ). En ninguno de ellos es probable, ni casi posible, que haya ser viviente.

En definitiva, Venus y Marte son los únicos planetas que acaso puedan compartir con la Tierra el privilegio de servir de soporte a la vida. En Marte ya caduca, últimas manifestaciones de un pasado que no debió alcanzar un gran desarrollo, por escasez de tiempo para que el lento evolucionar de las especies lograra producir animales de mediana capacidad mental. A esto quedan reducidos los *marcianos*, con quienes se aspiraba a comunicar no hace mucho, y cuya industria se soñó, alguna vez, portento muy lejos de lograr por el hombre. Por el contrario, en Venus, si existe, se encuentra todavía en sus albores, según ya he dicho. Y tampoco pueden abrigarse grandes esperanzas para un porvenir más o menos remoto. La vecindad del astro central ha sido nefasta para los hijos de este planeta, pues la lentitud de su rotación produce una climatología poco propicia para una vida exuberante. Acaso sean los mares el único refugio adecuado.

Esto me lleva a fijar la atención sobre la influencia que la irregularidad de la superficie terrestre ha tenido, seguramente, en el desarrollo de la vida hasta el alto grado de la inteligencia humana. Es bien sabido que sobre el fondo casi uniforme de los mares se destacan las masas continentales, casi verticalmen-

te, unos cuatro o cinco kilómetros, cubriendo un área no muy grande de la faz de la Tierra. Sobre estas regiones, únicas que han quedado en seco, se han producido todos los seres vivientes superiores y, desde luego, todas las manifestaciones de la espiritualidad. Los horizontes que se ofrecen a los animales submarinos son demasiado estrechos para estimular la inteligencia, y si los materiales que componen dichas masas continentales se hubiesen distribuido más uniformemente, toda la superficie terrestre estaría sumergida, no dando cabida a otra fauna que la exclusivamente marina, sin más desarrollo que el actual.

Esta condición excepcional en la distribución de los materiales de la corteza terrestre, que ha permitido la existencia de los continentes, debe relacionarse con otro privilegio señalado de nuestro planeta: la compañía de la Luna. El modesto tamaño de aquél, apenas el cuarto en orden creciente de magnitud entre los demás compañeros del Sol, está compensado por lo gigantesco de su satélite. Sólo tres o cuatro de los que gravitan alrededor de Júpiter y Saturno le superan un poco. La explicación del caso se encuentra en el modo como nació de la Tierra primitiva. Cuando aún era líquida en su mayor parte, si bien cubierta por una ligera capa sólida de los materiales menos fusibles, las marcas que el Sol produjera acabaron por romperla, constituyendo el sistema Tierra-Luna actual. En esta ruptura la Luna arrastró la parte más importante de aquella escoria, que no ha debido ser menos de  $\frac{1}{20}$  de la masa total del satélite. El cata-

clismo producido, allá en los comienzos de la Tierra, fué seguramente muy superior a cuanto la imaginación puede describir, aleccionada por las más gigantescas catástrofes sísmicas que la historia nos señala. El residuo de corteza escoriácea debió resquebrajarse y separarse, pero la rapidez de enfriamiento en aquella época era demasiado grande para consentir que estos últimos restos se repartieran con uniformidad, y ahí quedaron, en su mayoría agrupados del lado opuesto del lugar de la ruptura, que muchos sitúan en el centro del Pacífico. Cuando poco más tarde las aguas se precipitaron, los mares se formaron en los huecos que este proceso dejó. Acaso la humanidad ha sido posible gracias a este hecho un poco insólito.

No más que un poco insólito, pues la ruptura de un astro en dos de dimensiones comparables, es régimen normal del Universo. Quizá se pueda cifrar en un 50 por 100 el número de las estrellas que se han roto en dos; pero este fenómeno, al que atribuimos una influencia tan beneficiosa para la evolución de la vida en la Tierra, es un gran obstáculo para su existencia en todos estos sistemas estelares, donde dos o más soles próximos rigen los movimientos de los planetas fríos que puedan acompañarles. En efecto, sus trayectorias han de ser tan complejas y, por ende, tan exagerados los cambios de temperatura a que se hallen sometidos, que es muy difícil aceptar la posibilidad del desarrollo normal de la vida en su paz. Los hermosos juegos de luz que Flamarión ha descrito a veces, atribuyéndoles a los paisajes de uno de estos

planetas, no han tenido otro espectador que la imaginación exuberante del astrónomo francés.

Para lograr una climatología adecuada a las exigencias de los organismos vivientes, y, en particular, de sus representantes superiores, es necesario pensar en las estrellas solitarias que pueden sostener planetas en órbitas circulares, o muy próximas a esta condición, sometidos a un caldeoamiento sensiblemente constante durante el curso del año. En los días en que se aceptaba la hipótesis de Laplace, imaginando que la contracción progresiva de la nebulosa original provocó el desprendimiento de anillos, que luego se acumularon en las masas planetarias, no era grande la dificultad de imaginar hasta centenares de millones de sistemas como el solar, y en ellos otras tantas Tierras tan fecundas como la nuestra. Pero la ciencia rechaza la realidad de aquel proceso. Ciertamente que una masa gaseosa en rotación y progresivo enfriamiento pierde su estabilidad en cuanto la contracción rebasa un límite fijable teóricamente, y entonces comienza a lanzar por su arista ecuatorial parte de su masa, formando una niebla que la envuelve. Pero no existen en ella anillos separados, ni se produce la condensación que Laplace supuso, sino que permanece en el mismo estado.

La formación de nuestro sistema y sus análogos es bastante más compleja. En ella intervienen dos estrellas, el azar de cuyos movimientos les lleva a una distancia tan pequeña que su encuentro puede calificarse de choque. Cuando una de ellas es mucho menor que la otra, y es gaseosa en su mayor parte, la

acción violenta de esta última provoca una marea gigante en la primera, constituida por dos filamentos materiales diametralmente opuestos que pronto se condensan y rompen en trozos aislados, engendrando otros tantos planetas. Esto es lo que debió ocurrir en nuestro sistema unos dos mil millones de años atrás, cuya es la edad atribuible al sistema solar.

Felizmente, un cataclismo de este género se produce muy de tarde en tarde. No menos que dos mil millones de años han debido transcurrir desde el encuentro del sol con el astro que extrajo de él la materia que integró a los planetas, y le queda mucho que andar sin temor a una nueva visita que disgregue el sistema construido desde entonces. Ciertamente que no faltan otros peligros que amenacen borrar las condiciones privilegiadas que hacen posible la vida en nuestro planeta, pero es muy probable que no falten en algunos millares de millones de años. Si tenemos en cuenta que la vida del hombre sobre la Tierra no rebasa una antigüedad de trescientos mil años, esta promesa abre la esperanza de posibilidades culturales difíciles de imaginar. Todo lo ya vivido, en relación con esta duración probable de su existencia, no representa más que un par de días en la vida media de un hombre, y si pensamos en los dos o tres centenares de años que han producido la ciencia a que debemos este conocimiento, es difícil que aquella esperanza no pierda el freno de la razón, al soñar en el porvenir cultural. Los dos o trescientos años al final de los trescientos mil de vida humana, son para la duración probable de ésta lo que un par de minutos al térmi-

no del segundo día de existencia de un niño. Es indudable que la inteligencia, o quizá mejor la cultura, no crecerá siempre con la rapidez que en este período. Como en la vida individual, la velocidad ascendente irá decreciendo y hasta es probable que después de alcanzar un máximo comience a disminuir, marcando el comienzo de la vejez colectiva; pero seguramente estamos muy lejos de ello. Habida cuenta del tipo de problemas que preocupan aún a la humanidad, no es disparatado considerarla en plena infancia, y hasta valorar todo el pensamiento científico de los últimos siglos, con relación al pleno saber logrado por los hombres que nos sucedan dentro de algunas centenas de millones de años, comparándole a las ideas útiles que crucen por la mente de aquel niño de algunos días en el breve espacio de unos minutos.

Advertí antes cuán fácil es perder el freno de la razón cuando se piensa en las posibilidades culturales de la humanidad. Para acudir a tiempo contra el peligro, conviene decir que me refiero a la cultura en el más amplio sentido, comprendiendo todas las orientaciones en que el progreso es posible: unas ya iniciadas, otras apenas esbozadas, algunas quizá aún desconocidas. Dominio de la naturaleza como habitación del hombre. He aquí un ejemplo en que el progreso encontrará pronto barreras infranqueables. Fué ya avanzada la historia cuando se desconocía completamente la mayor parte de nuestro globo, y no pasarán muchos milenios antes de que la Tierra plena quede convertida para la vida humana en algo comparable a lo que es una ciudad para el hombre

de nuestro tiempo, y así como ahora podemos dormir en Chamberí, comer en Atocha y trabajar en la Moncloa, entonces será posible descansar en América del Norte, almorzar en Siberia y trabajar en Australia. Pero la salida de este planeta estará siempre tan vedada como hoy. Es posible, y hasta probable, que la óptica nos dé el medio para reconocer con detalle la superficie de los otros planetas vecinos; la Física teórica y la Astronomía ensancharán notablemente nuestro saber referente a las estrellas, su constitución, los conjuntos y universos que forman; pero continuaremos, bajo pena de vida, sujetos a este, cada día más notoriamente, simple grano de polvo sideral.

Conocimiento del espíritu. He aquí un capítulo que juzgo en situación completamente distinta. Sabemos hoy de él poco más o menos lo que el niño de un par de días respecto de la telegrafía, la telefonía, la aviación, la estructura del átomo o la Mecánica ondulatoria. Acaso se trate de un problema verdaderamente insoluble, pero nuestros juicios respecto a él tienen el mismo valor que los del niño con relación a la Física.

\*

Pero volvamos a la busca de los mundos habitables. Todas las estrellas que integran nuestro Universo, engendran en los cielos esa mancha blanquecina que llamamos Vía Láctea. Su número ha ido creciendo rápidamente con la potencia de los anteojos y telescopios con que se escruta el firmamento. A simple

vista reconocemos unos seis millares de las más cercanas; hace unos años se llegó en el recuento a 1.500 millones, pero ya hoy se estima en 300.000 millones su número. Todas ellas han nacido casi al mismo tiempo, millón de años más o menos, que no es menor la unidad con que han de medirse las duraciones en esta vida sideral. Su edad media debe cifrarse en unos 5.000 millones de millones de años, desde que vinieron a la vida al romperse en pedazos por propia inestabilidad la enorme nebulosa primitiva. En este tiempo sus movimientos han adquirido la irregularidad que es consecuencia de sus acciones mutuas, cuando éstas se hacen notables por razón de la proximidad. El acercamiento hasta dos o tres radios estelares es un simple caso particular, pero tan poco frecuente que para una misma estrella deben transcurrir no menos de 500.000 millones de millones de años entre dos encuentros consecutivos de esta clase; es decir, un tiempo 100.000 veces mayor que su edad actual. Pero este tipo de encuentros son los que engendran los sistemas planetarios, lo cual significa que sólo una de cada 100.000 estrellas, o unos tres millones entre todas las que forman la Vía Láctea, tienen alguna probabilidad de ir acompañadas de un sistema planetario que recuerde al nuestro. En muchas es posible que ninguno de los planetas formados lo haya sido en condiciones de ser habitable. En otras puede haber más de uno, pero es seguro que estimamos con exceso si atribuimos a cada sistema uno de estos planetas con plena capacidad para que la evolución de la vida pueda llegar hasta un ser inteligente. Los tres millo-



nes de astros habitables se habrán producido en todo el período de los 5.000 millones de millones de años que cuentan de vida las estrellas, de modo que, por término medio, sus nacimientos están distanciados en unos 2.000 millones de años; es decir, que desde la formación de nuestro sistema no es probable que se haya formado más de otro en toda la Vía Láctea. Si en cada uno la vida dura otro tanto más, según decía arriba, su existencia no se da simultáneamente en más de dos o tres de estos astros.

Pero nuestro Universo ocupa un volumen gigantesco. Una señal luminosa lanzada desde la Tierra, con su enorme velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, tarda en alcanzar sus límites un tiempo que varía entre cien y trescientos siglos, según la dirección en que sea enviada. Si en todo ese espacio no existen más de dos o tres astros habitados, sus distancias probables a nosotros deben ser tales que la luz invierta en recorrerlas unos doscientos siglos. Si en alguno de estos mundos el progreso industrial permitiese a sus habitantes disponer de focos de potencia luminosa suficiente para ser visibles a distancias de esta magnitud, y un día recibiéramos su mensaje, ello significaría que entrábamos en relación con los coetáneos de los artistas de la cueva de Altamira, y si cupiese la respuesta sería recibida por descendientes tan remotos de quienes formularon el mensaje primitivo que no es fácil suponer que conservasen recuerdo de él. Si no han tenido mayor habilidad que la nuestra para ingeniar los materiales utilizados en la escritura, los documentos en que se hubiesen

consignado los detalles del mensaje habrán desaparecido mucho antes de que llegue la contestación.

\*

Hasta ahora me he referido únicamente a nuestro Universo, al conjunto estelar que llamamos Vía Láctea. De dimensiones colosales, según se acaba de ver, no es sino uno de otros muchos universos-islas, como decía ya Herschel, que llenan el espacio a que alcanzan nuestros telescopios más poderosos. Su número registrado no baja de unos 2 millones, y sus distancias mutuas son tales, que la luz tarda otros tantos años en recorrerlas. En general parecen menores que el nuestro, pero así y todo, cada una tiene materia suficiente para formar unos 2.000 millones de estrellas semejantes a nuestras vecinas. No hay razón para pensar que sean ni más ni menos propicias para la vida que éstas, y, por tanto, no seremos ni demasiado optimista ni exageradamente pesimista, si pensamos que en cada uno puede existir un astro portador de una vida inteligente, que por extensión llamaremos también humana. Pero estas diversas humanidades están ya demasiado lejanas para entenderse. Los mensajes que en nuestro Universo necesitan marchar durante centenares de siglos, entre unos y otros invertirían millares de milenarios.

Decididamente es menester relegar toda esperanza de contacto e inteligencia entre estos sectores de la humanidad universal hasta el reino de los espíritus que habitan fuera del espacio y del tiempo.

Bueno será terminar notando cómo el avance notable de la cosmogonía, no más que en unas decenas de años, ha puesto al origen de la vida el mismo signo de interrogación que quiso suprimir Arrhenius, imaginando que los primeros elementos vivos pueden viajar a través de los espacios sidéreos, como los átomos o las moléculas inorgánicas; cierto que con vida latente, pero dispuestos a entrar en actividad cuando caen en un astro donde las condiciones son propicias. Dejemos a un lado las múltiples objeciones que semejante hipótesis provocó, para señalar simplemente su incompatibilidad con el escasísimo número de astros habitados, que al mismo tiempo recogen los gérmenes sidéreos, que proveen a la siembra necesaria de los espacios. Vida latente es siempre vida, siquiera de lentitud extrema. Por eso la duración de la vitalidad es limitada y absolutamente incompatible con los millones de millones de millones... de años que aquellos gérmenes habrían de vagar por los espacios antes de caer en el terreno propicio.

La vida, al menos en cuanto a su soporte material, surge en el mismo astro que la sostiene, y el cómo constituye el problema, acaso más trascendental, que aún espera solución científica.

ACABÓSE DE IMPRIMIR LA PRIMERA EDI-  
CIÓN DE ESTE FOLLETO EN LOS TA-  
LLERES TIPOGRÁFICOS DE GALO  
SÁEZ, MESÓN DE PAÑOS, 8,  
MADRID, EL DÍA 17  
DE ENERO DE  
1930

A.VIII. "LA IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO SEGUN  
LA RELATIVIDAD" (1931)

BLAS CABRERA

La imagen actual del  
universo según la re-  
latividad

*(Publicado en la «Revista de Occi-  
dente» en el mes de julio de 1931.)*

M A D R I D

# La imagen actual del universo, según la relatividad

**P**OCOS descubrimientos científicos adquirieron desde el primer día la notoriedad de que gozó la teoría de la relatividad de Einstein, a pesar de su influencia nula en el progreso industrial. Fué en la teoría del conocimiento físico y en la cosmología donde las nuevas ideas provocaron una transformación más profunda. El brillante éxito del método experimental desde la época de Galileo, engendró en los físicos una tal confianza en la justeza de su representación de los fenómenos del mundo exterior, que nadie pensaba en la necesidad de un análisis filosófico de las nociones primeras que jugaban en aquélla. Se olvidaba que los datos empíricos, aun libres de error, sirven únicamente de fundamento para la construcción racional de la ciencia.

Por exigencias de nuestra organización mental se describen los fenómenos en el espacio y el tiempo,

nociones inconfundibles ante la conciencia que la física clásica proyectó sobre el universo sin examen atento. La oposición manifiesta de algunos de sus corolarios con los hechos observados, dió origen a la forma primitiva de la relatividad, llamada después *especial*, cuya esencia es reemplazar aquellas dos categorías independientes por un complejo del cual se para cada observador su espacio y su tiempo propios. Fijemos la atención en un fenómeno sencillo: el tránsito de una partícula material de un punto a otro. Su definición completa exige fijar las posiciones de estos y el intervalo de tiempo invertido. Supuestos los instrumentos indispensables, nadie encontraría dificultad para estas operaciones, pero ya no es tan evidente que los resultados obtenidos sean independientes de quien los obtiene, como afirmaba la física anterior a Einstein. Sin duda, es la hipótesis más sencilla, pero ya he dicho que rectificada por la experiencia. Si la separación del espacio y el tiempo tuviese un valor universal, sería posible establecer la simultaneidad, a menos que ocurra en puntos lejanos, en tanto la experiencia ha probado que el intento de realizarlo es vano, pues no otra cosa significan las contradicciones empíricas que llevaron a Einstein a descubrir el postulado de relatividad. De hecho la separación del espacio y el tiempo que un observador realiza, no tiene sentido sino para quienes se encuentran en sus mismas circunstancias.

En un primer análisis pareció que el elemento que determina el modo de desdoblarse el complejo espacio temporal es la velocidad de traslación del

observador; de suerte que el Universo ofrece idéntico aspecto a cuantos físicos se hallen en reposo relativo sean cuales fueren sus distancias mutuas. Por el contrario, dos experimentadores en movimiento relativo interpretan de modo distinto un fenómeno único en que ambos fijan su atención. Imaginemos que se miden las acciones entre dos pendulillos electrizados. Para quien está en reposo respecto de ellos quedan satisfactoriamente explicadas mediante las leyes de Coulomb, en tanto para un físico en marcha que atravesase el laboratorio intervienen también las leyes de Ampère que rigen las fuerzas entre dos elementos de corriente eléctrica. Con esta intervención de la velocidad de transporte de quien analiza los fenómenos, logró Einstein deshacer las contradicciones en que cayó la física clásica; pero, además, la nueva concepción sugirió inmediatamente a su autor una generalización que ensanchó notablemente las posibilidades de la ciencia. Esta generalización estriba en reconocer que la disociación del complejo espacio-tiempo depende en segunda aproximación del lugar del Universo donde los fenómenos ocurren. La atracción universal primeramente interpretada por la clásica ley de Newton, resulta ser la manifestación ostensible de tal influencia. Si tuviese sentido hablar de dos observadores que se moviesen con la misma velocidad absoluta en la superficie de nuestro planeta y en la del sol, respectivamente, no podemos afirmar que el Universo presentaría para ambos el mismo aspecto. Por ejemplo, los relojes en el Sol retrasarían sensiblemente con relación a los situados en la Tierra. Por



esto vemos encorvarse los rayos de luz que vienen de las estrellas al rozar por la superficie solar, según quedó probado en el eclipse de 1919, y confirmado en todos los posteriores; por esto se produce el movimiento secular del perihelio de Mercurio, que resistió todo intento de explicación deducida de la teoría newtoniana, y también es éste el origen del corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales, cuando el foco luminoso se traslada desde una región donde el campo gravitatorio es débil a otro donde sea intenso. Estos tres fenómenos señalados por Einstein desde el primer momento como criterios para justipreciar su teoría, han recibido posteriormente plena confirmación empírica, y todos ellos derivan de la dependencia en que se halla la disociación del complejo espacio-temporal respecto del lugar del Universo donde se produce el fenómeno.

En geometría se utiliza un sistema de coordenadas para fijar la posición de cada punto en el dominio siempre reducido que interesa en cada momento: por ejemplo, las tres rectas mutuamente perpendiculares introducidas por Descartes. La física exige agregar un reloj. Según lo dicho antes, este conjunto coordenadas-reloj se modifica al pasar a otros lugares y tiempos, pero según leyes definidas por la propia estructura del Universo. En cierto modo puede decirse que la elección del sistema de referencia se hace de una vez para todo él, como suponía implícitamente la ciencia clásica. La diferencia estriba en que para ella ejes coordenados y reloj se conservan idénticos a sí mismos, mientras Einstein ha podido hablar de un mo-

lusco de referencia que se adapta a la naturaleza de cada lugar. Las ecuaciones que adaptan el sistema a cada lugar del Universo resuelven el magno problema de la gravitación, incluidos los fenómenos que escapan a la teoría de Newton. Ello significa mayor perfección del conocimiento.

Recordemos ante todo que las acciones a distancia que intervienen explícitamente en la ley de Newton merecieron siempre la repulsa de todo espíritu filosófico. Incluso por parte de su propio autor. Nuestra mente no concibe que la presencia de un cuerpo se denuncie sin retraso alguno en lugares alejados del que él ocupa. Y esta objeción fundamental, siempre en pie aunque desoída, no es aplicable a la nueva teoría, puesto que el campo gravitatorio aparece en ella definido por un grupo de ecuaciones diferenciales; es decir, ecuaciones que ligán los cambios locales de las magnitudes características de la estructura del Universo.

Son ellas las únicas accesibles a la observación y la experiencia. Por tanto, constituyen el fundamento único de nuestro saber relativo al mundo exterior, cuya elaboración se realiza mediante la extensión progresiva, según las leyes de la lógica, de las relaciones obtenidas para nuestro pequeñísimo mundo. Por esto, la nueva teoría ha podido plantear en términos muy precisos problemas que antes parecían fuera de los dominios de la física. Así, el espacio y el tiempo forman el cuadro en que se encajan ante nuestra conciencia los fenómenos naturales, sin que sus características estén intervenidas por el mundo exterior. La

finitud o infinitud del espacio y el origen o el fin de los tiempos eran problemas filosóficos que trascendían de la física. Por el contrario, la teoría relativista permite su planteamiento en forma que la observación y la experiencia sirvan como criterios de verdad.

Por lo que hace al espacio, Einstein halló el modo de concebirle finito, aunque ilimitado. En la geometría de Euclides estos términos son contradictorios, pero ello significa pura y simplemente que es inadecuada para representar con todo rigor los hechos de un dominio un poco extenso de la Naturaleza, como no es siempre posible confundir con un plano la superficie de un lago. Nuestra inteligencia puede construir diversas geometrías igualmente perfectas desde el punto de vista lógico, pero la Naturaleza no se conforma a todas ellas y es tanto más exigente cuanto más amplia la porción que consideremos o más precisas las relaciones métricas cuya interpretación se busca. Por esto se explica que hubiese bastado la euclidiana mientras nuestros medios de exploración de la naturaleza tuvieron corto alcance. Nuestro saber actual requiere para correlacionar las posiciones y distancias una geometría más cercana de la que sirve para el estudio de las figuras trazadas en la superficie de una esfera en vez de un plano. Precisamente el campo gravitatorio, tan claramente denunciado a nuestra experiencia, es una consecuencia de esta curvatura del espacio, y del mismo modo que se calcula el radio de una esfera midiendo los elementos geométricos de una figura que ocupa una porción de su superficie, también se deduce el radio del

espacio por mediciones adecuadas dentro de nuestro entorno.

He aquí uno de los resultados admirables de la ciencia actual. Para lograr un error inferior a un límite prefijado en el radio de una esfera han de emplearse figuras de dimensiones tanto más grandes cuanto menos precisos los métodos e instrumentos usados para obtener las relaciones métricas de sus elementos. Conviene, por tanto, utilizar porciones del espacio lo más grandes posibles. Ciertamente, no se pensará que restrinjo las posibilidades de la observación si supongo que hemos de atenernos a nuestro propio Universo-*isla*: la Vía Láctea. Con esto doy por segura la medida de longitudes que alcanzan a ciento cincuenta mil años luz; pero como hoy se atribuye al radio del espacio mil cuatrocientos millones de estas unidades, el llegar a este número mediante observaciones localizadas dentro de tal sistema estelar es comparable a la investigación del radio de la Tierra estudiando una parte de su superficie algo menor que el área cubierta por el Madrid viejo.

Primeramente, es claro que no hemos de esperar un conocimiento detallado de la configuración del espacio. Cuando afirmamos que es esférico queremos decir que es esta su forma media, pero con mucha menor precisión que cuando se compara nuestro planeta a una naranja. Seguramente, las rugosidades del espacio son mucho más notables que las deformidades de la faz de la Tierra.

Además, los datos de la observación son muy incompletos y dejan amplio margen a hipótesis cuya

sugestión previene de motivos de orden muy diferente que la pura imposición empírica. Por ello han podido considerarse equivalentes las soluciones dadas desde el primer momento a la teoría por Einstein y de Sitter. Para ambos el espacio es cerrado, pero el Universo no es sólo espacio, sino también tiempo, y respecto a él son esencialmente distintas las concepciones de ambos. Einstein atribuye al tiempo una evolución indefinida, de modo que el Universo, complejo espacio-temporal, podría compararse a un cilindro. La sección por un plano corresponde al espacio y es como él cerrado, mientras las generatrices del cilindro, que representan el curso del tiempo, son líneas abiertas desde el infinito negativo al positivo. Es decir, que los problemas de origen y fin de las cosas responden a una realidad.

Este Universo cilíndrico de Einstein llena una condición particularmente seductora para una primera visión: Entre la masa total que lo constituye y el volumen que ocupa, existe una adecuación perfecta, de modo que nada queda vacío en el espacio. Su capacidad es la necesaria y suficiente para contener la materia. Si la cantidad de ésta aumenta o disminuye también se ensanchará o se estrechará el espacio. Cuando la ley de conservación de la materia constituía uno de los postulados de la ciencia física, un corolario de esta especie podía considerarse como un argumento favorable a la teoría; pero fué la propia relatividad quien probó la inexactitud de aquél postulado y la posibilidad de que la materia se engendre o destruya en un lugar del espacio, acarreará

no sólo el cambio de volumen a que nos hemos referido, sino una reestructuración del mismo que parte de dicho lugar para extenderse a su totalidad, y ello ofrece ya dificultades hondas.

Veamos ahora el Universo de Sitter. Su diferencia esencial con el de Einstein, consiste en considerarle también cerrado en el sentido de la dimensión tiempo. Es decir, que avanzando a lo largo de ella volvemos al instante inicial, como alejándonos de un punto del espacio retornamos a él. En vez de considerar el Universo cilíndrico, hemos de atribuirle dimensiones finitas en todas las direcciones; debemos compararle a un elipsoide, no a un cilindro. Semejante concepción acerca más la dirección tiempo a las coordenadas ordinarias, con lo cual adquiere el Universo una isotropía de que carece el imaginado por Einstein; pero, en cambio, parece contradecir las nociones impuestas por la experiencia diaria, partiendo de la cual es imposible concebir el curso de los tiempos cerrado sobre sí mismo. No obstante, la teoría da una solución satisfactoria a este problema epistemológico. Si desde un lugar y en un instante dados contemplamos un mismo fenómeno que se produce en puntos cada vez más lejanos, parece que la rapidez de su curso disminuye, hasta llegar a la quietud absoluta cuando alcanza el ecuador del Universo relativo al lugar de observación; o, como también se ha dicho, el *horizonte del Universo* para dicho punto. Por tanto, la historia de cualquier sistema, en cuanto conocida, aparecerá siempre con su origen perdido en la noche de los tiempos y un porvenir igualmente inde-

finido; todo ello conforme con nuestra experiencia. Sin embargo, no confundamos esta apariencia con la realidad exterior. El sistema que vemos en nuestro horizonte con quietud de muerte, si se contempla a sí mismo, evoluciona con igual celeridad que mientras permanece cerca de nosotros y, en cambio, nos creará inmutables.

El *relanti* de los fenómenos que suceden a distancias crecientes, pueden someterse a la comprobación empírica estudiando los espectros de focos luminosos cada vez más lejanos. Sirven para tal fin los astros y nebulosas. La estructura general de sus espectros prueba que todos ellos están formados por átomos de los mismos elementos químicos, de donde los procesos que producen la luz han de ser rigurosamente idénticos. Así cada raya da en su frecuencia el medio de comparar cómo marchan los relojes situados en dichos sistemas estelares: si el tiempo transcurre con mayor lentitud, las líneas espectrales se deslizarán hacia el rojo en el espectro y si más aprisa se correrán al violeta.

Sin embargo, cabe otra interpretación de mayor abolengo científico para el mismo fenómeno. Es un hecho de observación vulgar que una nota producida por un aparato sonoro en movimiento respecto al observador parece más alta cuando se acerca y más baja si se aleja. El origen de este cambio de tono lo encontró Doppler en la superposición de la velocidad propia del aparato y la de propagación del sonido. Cuando ambas tienen la misma dirección, el número de ondas recibidas por segundo será mayor,

puesto que avanzan más de prisa, y si dichas velocidades tienen sentido opuesto se restan, con lo cual disminuye el número de ondas en la unidad de tiempo. Así, en el primer caso, el sonido equivaldrá al de un aparato fijo que da una nota más aguda, y en el segundo, a otro que la da más grave.

Si tal explicación es aceptable, y la luz es también un fenómeno ondulatorio, le será aplicable el mismo razonamiento, sustituyendo el tono del sonido por el matiz del color. Así, cuando el foco se acerca al observador, el color vira hacia el violeta, y hacia el rojo, si se aleja. De un modo más preciso: para una velocidad dirigida hacia el centro de observación la frecuencia de las líneas espectrales del foco, crece; y disminuye cuando la velocidad tiene dirección opuesta. Fizeau hizo esta aplicación del efecto de Doppler a la luz que hoy es un hecho probado por experiencias directas, y, por tanto, utilizable como método de investigación. Por ejemplo, aplicado a los espectros estelares denuncia el movimiento propio de cada astro y permite medir su componente según el radio visual. La estadística de estas velocidades no acusa ningún sentido privilegiado, y su magnitud es generalmente del orden de las decenas de kilómetros por segundo, o a lo más de las centenas.

Pero la Astronomía moderna ha descubierto más allá de las estrellas a nuestro alcance, cuyo conjunto forma el sistema definido que se llama Galáctico, otros objetos luminosos que aparecen como nebulosas, pero que son realmente otros tantos sistemas como la Vía Láctea. Las líneas de su espectro muestran un



efecto Doppler anormal por doble motivo: primero, porque denuncia siempre un alejamiento, y segundo, porque su velocidad rebasa con mucho el límite indicado, pues según los trabajos recientes del observatorio de Mont Wilson llega hasta 11,5 millares de kilómetros. Además, su valor parece crecer con la distancia del sistema o nebulosa considerada.

Es muy difícil no ver en este hecho la prueba de que la concepción de Sitter se ajusta a la realidad, y a ello aludía más arriba; pero sería demasiado inocente atribuirle un valor comparable al que es justo reconocer a la observación y la experiencia que se contrae a nuestro entorno. Volvamos a recordar que estos atisbos de la configuración del Universo son comparables a las deducciones que hiciéramos respecto de la forma de nuestro planeta sin más datos de observación que los obtenidos en una porción de su superficie no mayor que el área del Madrid viejo. Para desbordar de este modo nuestro conocimiento es indispensable que en los razonamientos intervengan hipótesis mucho menos atadas a la realidad observable de lo que es normal en la física. Por esto, pueden decirse equivalentes concepciones tan distintas como la de Einstein y de Sitter. La primera con espacio cerrado y de capacidad estrictamente ajustada a la cantidad de materia que contiene, pero de tiempo abierto con un sentido único de evolución. La segunda de espacio también cerrado, pero con capacidad fija independientemente de la materia que guarda, puede llegar a vaciarse totalmente, si aquello se aniquila. En cuanto al tiempo ya vimos que es cerra-

do como el espacio, dando al Universo una isotropía en que estriba su ventaja epistemológica.

Realmente, lo mismo Einstein que Sitter se refieren a un Universo simplificado, que para el primero se obtiene imaginando una distribución homogénea de la materia, de modo que su densidad sea constante, mientras el segundo asegura la misma uniformidad de condiciones considerando el espacio vacío. Gracias a esta hipótesis, el espacio tiene una curvatura constante en estrecha analogía con una superficie esférica. La realidad es mucho más compleja porque la materia está concentrada en puntos aislados, que son las estrellas; o mejor en dominios pequeños, comparados a las dimensiones totales del Universo, dentro de los cuales la densidad cambia siguiendo leyes diferentes. Así no es más exacto considerar el espacio como de curvatura constante que hablar de la Tierra como de una esfera.

No por pura casualidad se han propuesto estas dos imágenes del Universo y sólo ellas. Se pretendía ver en él un sistema en equilibrio, o todo lo más fluctuante alrededor de un estado medio permanente, garantía de su eternidad. En el caso de Sitter dicha condición quedaba asegurada, porque siendo un espacio vacío en él no tienen sentido los cambios. Para Einstein, dijimos ya que la capacidad del espacio es justamente la necesaria para alojar toda la materia. Si ésta se conserva, al imponer una distribución uniforme se elimina la posibilidad de toda variación. Sin embargo, hemos ya señalado, como una dificultad de esta concepción, el que toda creación o des-

trucción de materia exige un reajuste del espacio y entonces se plantea un problema de estabilidad. Si la densidad media de materia cambia, la variación producida en consecuencia, en la capacidad del espacio, es opuesta a lo que requeriría el retorno al estado de equilibrio. Es decir, cuando la densidad disminuye, el Universo se dilata, y si aumenta, se contrae.

Por consiguiente, las nebulosas distribuidas en el espacio se alejarán o acercarán las unas de las otras, como puntos señalados sobre un globo elástico cuyo radio aumenta, utilizando una imagen varias veces usada. He aquí una nueva interpretación posible para el corrimiento hacia el rojo de las rayas de los espectros nebulares, en buen acuerdo con el pensamiento clásico. Según estas ideas, se trata de un efecto Doppler, como siempre se pensó, pero no producido por movimientos propios y desordenados, como en el caso de las estrellas, sino por un fenómeno de conjunto que obedece a una ley general.

Tal es la concepción formulada hace pocos años por G. Lemaître con aceptación bien general. Teóricamente sería tan probable una contracción del Universo como la expansión, pero de hecho se produce esta última, sin que se haya dado una razón plausible para explicar la elección. El Universo de Einstein pudo ser la primitiva realidad, pero una acción interna desconocida ha provocado aquella expansión, que parece tener como fin el espacio vacío de Sitter. He aquí, pues, cómo ambas concepciones parecen algo análogo a los citados extremos de una evolución.

La observación da, además, la rapidez con que marcha en el momento actual este proceso de hinchamiento. Cada millón de años transcurrido, crece el radio del Universo en  $\frac{1}{2000}$ , de suerte que dentro del período evolutivo de nuestro planeta que la geología puede seguir, el Universo entero ha duplicado sus dimensiones lineales.

Pero nada puede asegurarnos de que la velocidad actual haya perdurado desde tiempos tan remotos. Es más lógico pensar en una ley de movimiento menos simple, so pena de plantear de nuevo el problema del origen y el fin de los tiempos. Es fantástica la amplitud del dominio de nuestro conocimiento logrado por la ciencia en el último cuarto de siglo, pero no se olvide que este alejamiento de sus fronteras no se logra sino perdiendo la precisión y exactitud que son sus características cuando se circunscribe a límites más modestos. La historia de la física nos autoriza a pensar que muchas dudas de hoy encontrarán solución más o menos pronto, gracias a la labor de consolidación de las nuevas conquistas, pero acaso no va sin rectificación esencial de la visión que hoy imaginamos reflejo fiel de la realidad.

*Blas Cabrera.*

**B)**

**DOCUMENTACIÓN  
COMPLEMENTARIA**

## B. I. LA OBRA ESCRITA DE BLAS CABRERA

Este Anexo B. I. es prácticamente una reproducción del “Anexo I. La obra escrita de Blas Cabrera” del libro *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre*, editado por Amigos de la Cultura Científica (nº 5) con el patrocinio del Cabildo Insular de Lanzarote. Se editó también en el libro-catálogo *Exposición “Blas Cabrera: vida y obra de un científico”*.

Los criterios adoptados para su confección se expusieron en las obras citadas y no parece necesaria su repetición. Sí, sin lugar a dudas, reconocer de nuevo el importante trabajo realizado por el profesor F. A. González Redondo en esta ardua tarea.

En el marco de la “Commemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera” se ha programado la edición de sus *Obras completas comentadas*. En este proyecto editorial se han considerado como *libros* las publicaciones que se relacionan a continuación, aunque formalmente no todas ellas tuvieran en su presentación primitiva esta naturaleza.

**A) PUBLICACIONES CON NATURALEZA DE LIBROS**

1. *La teoría de los magnetones y la magnetoquímica de los compuestos férricos* (1912).
2. *Principios fundamentales del análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y el Universo de Minkowski* (1912-13).
3. *Estado actual de la teoría de los rayos X y  $\gamma$ . Su aplicación al estudio de la estructura de la materia* (1915).
4. *¿Qué es la electricidad?* (1917).
5. *Magnéto-Chimie* (1918).
6. *El estado actual de la teoría del magnetismo* (1916-1919).
7. *Principio de relatividad* (1923).
8. *Paramagnetismo y estructura del átomo y de la molécula* (1923-26-27).
9. *El átomo y sus propiedades electromagnéticas* (1927).
10. *L'étude expérimentale du paramagnétisme. Le magnéton* (1931).
11. *Electricidad y teoría de la materia* (1933).
12. *Dia-et paramagnétisme et structure de la matière* (1937).
13. *El atomismo y su evolución* (1942).
14. *El magnetismo de la materia* (1944).

**B) RELACIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES**

- 1902/1. (1) *Variación diurna del viento.*  
Tesis doctoral en Ciencias Físicas. Santa Cruz de Tenerife: Imprenta de A.J. Benítez, 1902 (53 págs.).
- 1903/1. (2) *Sobre la determinación de la constante del dilatómetro de Le Chatelier.*  
En colaboración con M.T. Gil.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 1, 14-15, 1903.
- 1903/2. (3) *Variación diurna de la componente horizontal del viento.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 1, 16-31, 1903.
- 1903/3. (4) *Sobre la trayectoria de los rayos catódicos en un campo magnético cualquiera.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 1, 47-50, 1903.
- 1903/4. (5) *Algunas consideraciones sobre la ionización de los electrólitos.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 1, 131-148, 1903.
- 1903/5. (6) *Sobre el estado actual de la ley de Maxwell  $K=n^2$ .*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 1, 309-318, 1903.
- 1904/1. (7) *Nuevo método para el calibrado eléctrico de un hilo.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 2, 48-52, 1904.
- 1904/2. (8) *Sobre la existencia del magnetismo verdadero.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 2, 227-239, 1904.
- 1904/3. (9) *Sobre el electrómetro esférico de Lippmann.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 2, 268-272, 1904.
- 1905/1. (10) *Sobre la variación de la conductibilidad del ácido sulfúrico con la temperatura.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 3, 8-20, 1905.
- 1905/2. (11) *Sobre la relación que liga la susceptibilidad con la permeabilidad magnética.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 3, 34-35, 1905.
- 1906/1. (12) *Regulador de temperatura aplicable a baños calentados por corrientes eléctricas.*  
En colaboración con I. González Martí.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 4, 13-16, 1906.
- 1906/2. (13) *Forma de la relación lineal entre dos fenómenos vectoriales para los distintos medios cristalinos.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 4, 16-23, 1906.



- 1906/3. (14) *Principios fundamentales de la teoría de vectores. Crítica de las acciones a distancia.*  
Rev. R. Acad. Cienc. 4, 532-577, 1906.
- 1906/4. (15) *El teorema de Vaschy y su aplicación a la electrostática.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 4, 242-256 y 302-314, 1906.
- 1906/5. (16) *Sobre la variación del magnetismo permanente con la temperatura. (Nota preliminar).*  
Rev. R. Acad. Cienc. 5, 275-302, 1906; y  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 5, 152-168 y 214-222, 1907.
- 1907/1. (17) *Sobre la teoría de los tensores.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 5, 111-119, 1907.
- 1907/2. (18) *Sobre una modificación del método de Carey Foster para el calibrado eléctrico de los hilos.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 5, 398-400, 1907.
- 1908/1. (19) *El coeficiente de frotamiento interno de los disolventes y la conductibilidad molecular de los electrólitos.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 6, 264-268, 1908.
- 1908/2. (20) *La teoría de los electrones y la constitución de la materia.*  
Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo III, 259-290, Zaragoza, 1908.
- 1908/3. (21) *Sobre los cambios de conductancia de la manganina durante el recocido.*  
Rev. R. Acad. Cienc. 7, 301-321 y 400-425, 1908;  
Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo III, 183-194, Zaragoza, 1908; y  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 7, 86-103 y 132-155, 1909.
- 1909/1. (22) *Determinación de algunas constantes físicas de la manganina.*  
Rev. R. Acad. Cienc. 8, 217-241 y 408-429, 1909.
- 1909/2. (23) *Sobre una relación probable entre los cambios de resistencia y de volumen de la manganina durante el recocido.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 7, 247-248, 1909.
- 1909/3. (24) *Sobre la variación que la tracción y la temperatura determinan en la resistencia de la manganina, y sus constantes elásticas.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 7, 389-399, 1909.
- 1910/1. (25) *El éter y sus relaciones con la materia en reposo.*  
Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias de Madrid, 17 de abril de 1910 (102 págs.).
- 1910/2. (26) *Descripción de un nuevo modelo de puente Carey-Foster.*

- An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 8, 67-71, 1910.
- 1910/3. (27) *Potenciómetro autocalibrable*.  
Rev. R. Acad. Cienc. 9, 887-900, 1910; y  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 9, 250-262, 1911.
- 1911/1. (28) *Sobre el calibrado eléctrico de los hilos*.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 9, 44-54, 1911.
- 1911/2. (29) *Comparación de patrones de resistencia de diferente orden de magnitud. Métodos empleados en el Laboratorio de Investigaciones Físicas*.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 9, 351-366, 1911.
- 1912/1. (30) *Sobre la acción del campo magnético en la resistencia del níquel a diferentes temperaturas. (Nota preliminar)*.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 10, 257-266, 1912.
- 1912/2. (31) *La teoría de los magnetones y la magnetoquímica de los compuestos férricos*.  
En colaboración con E. Moles.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 10, 316-344 y 394-431, 1912; y  
Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo IV, 199-233, Madrid, 1913.
- 1913/1. (32) *Discurso inaugural de la Sección 3ª Ciencias Físico-Químicas*.  
Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo I, 31-49, Madrid, 1913.
- 1913/2. (33) *La magnétochimie de quelques sels ferriques et la Théorie du magnéton*.  
Arch. Sc. Phys. et Nat. 35, 425-457, 1913.
- 1913/3. (34) *La teoría de los magnetones y la magnetoquímica de los compuestos de hierro*.  
En colaboración con E. Moles.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 11, 191-192, 1913.
- 1913/4. (35) *Acerca de algunos mecanismos adicionales a la balanza Bunge de platillos intercambiables*.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 11, 275-280, 1913.
- 1913/5. (36) *Magnetoquímica de los compuestos de hierro. (2ª Memoria)*.  
En colaboración con E. Moles.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 11, 398-419, 1913.
- 1913/6. (37) *La Magnétochimie des composés du fer et la théorie du Magnéton (Second mémoire)*.  
Arch. Sc. Phys. et Nat. 36, 502-518, 1913.
- 1913/7. (38) *Influencia del campo magnético sobre la resistencia del níquel*.

En colaboración con J.M. Torroja

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 11, 443-480 y 525-542, 1913; y

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 16, 1918.

1913/8. (39) *Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y el Universo de Minkowski.*

Rev. R. Acad. Cienc. 11, 326-344, 398-419, 490-508, 604-619, 670-685, 775-784, 874-887 y 959-974, 1912; y 12, 546-569 y 738-752, 1913.

1914/1. (40) *La magneto-química de los compuestos de níquel y la teoría del magnetón.*

En colaboración con E. Moles y J. Guzmán.

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 12, 131-142, 1914;

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 1-II, 1918; y

(En francés) Arch. Sc. Phys. et Nat. 37, 324-334, 1914.

1914/2. (41) *Estudios sobre la dilatación de disoluciones. I. Cloruro, nitrato y sulfato de níquel.*

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 12, 284-295, 1914; y

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 2, 1914.

1914/3. (42) *La magnetoquímica de las sales de cobre y la teoría del magnetón. I. Cloruro, nitrato y sulfato en disoluciones concentradas.*

En colaboración con E. Moles.

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 12, 373-379, 1914; y

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 5, 1914.

1914/4. (43) *La magnétochimie des sels de cuivre et la Théorie du magnéton.*  
(Versión francesa del anterior).

Arch. Sc. Phys. et Nat. 40, 284-290, 1915.

1914/5. (44) *Instalación para la medida de la susceptibilidad de los cuerpos fuertemente paramagnéticos.*

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 12, 512-525, 1914; y

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 9, 1914.

1914/6. (45) *Aplicación a la Física de la Geometría de las cuatro dimensiones.*

Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles, 28-III-1914 (22 págs.).

1914/7. (46) (No es artículo. Sólo se anuncia futura publicación):

*Étude magnétochimique des solutions de sulfate, chlorure et d'azotate de nickel.*

En colaboración con P. Weiss, J. Guzmán y E. Moles.

Arch. Sc. Phys. et Nat. 37, 277, 1914.

1915/1. (47) *Magnetoquímica de las sales manganosas y ferrosas.*

En colaboración con E. Moles y M. Marquina.

An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 13, 256-270, 1915; y

Trab. Lab. Inv. Fís. nº 14, 1915.

- 1915/2. (48) *Estado actual de la teoría de rayos X y  $\gamma$  su aplicación al estudio de la estructura de la materia.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 13, 7-30, 63-87, 129-172 y 189-235, 1915; y Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1915 (142 págs.).
- 1915/3. (49) *El estado actual de la teoría del magnetismo. I.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 13, 285-309, 1915; Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo II, 169-179, Valladolid, 1916 (Conferencia, 19-X-1915); y Memorias del Instituto Nacional de Ciencias. Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1919.
- 1915/4. (50) *Estado actual, métodos y problemas de la Física.*  
Conferencias. Ateneo de Madrid, 24 y 31-I-1915.
- 1916/1. (51) *El estado actual de la teoría del magnetismo. II.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 14, 7-44 y 103-139, 1916; y Memorias del Instituto Nacional de Ciencias. Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1919.
- 1916/2. (52) *La magnetoquímica de las sales de cobalto y la teoría de los magnetones.*  
En colaboración con E. Jimeno y M. Marquina.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 14, 357-373, 1916; y Trab. Lab. Inv. Fís. n° 27, 1916.
- 1916/3. (53) (No es artículo. Sólo apuntes-resúmenes de sus conferencias):  
*Conferencias sobre Física-Matemática en Madrid.*  
Ibérica 5, 46-47, 175 y 333-335, 1916.
- 1917/1. (54) *Les propriétés magnétiques et la structure de l'atome.*  
Scientia 21, 377-387, 1917.
- 1917/2. (55) *¿Qué es la electricidad?*  
Madrid: Publicaciones de la Residencia de Estudiantes. (Conferencias. 16, 19, 23, 26 y 30-I-1917.)
- 1917/3. (56) *Acerca de la acción de los bordes de los orificios en los rayos  $\gamma$*   
En colaboración con J. Laub.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 15, 51-54, 1917; y Trab. Lab. Inv. Fís. n° 30, 1917.
- 1917/4. (57) *Magnetoquímica de los compuestos del cromo. I. Sulfato y nitrato crómicos.*  
En colaboración con M. Marquina.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 15, 199-209, 1917; y Trab. Lab. Inv. Fís. n° 33, 1917.

- 1918/1. (58) *La magnétochimie des sels de manganése.*  
En colaboración con E. Moles y M. Marquina.  
Journ. Chim. Phys. 16, 11-27, 1918.
- 1918/2. (59) *La magneto-química del sulfato férrico y la teoría de los magnetones.*  
En colaboración con E. Moles.  
Trab. Lab. Inv. Fís. [Inst. Nac. de Ciencias Físico-Naturales] n° 1, 1913; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. [Inst. Nac. de Ciencias] n° 1-I, 1918.
- 1918/3. (60) *Magnéto-Chimie.*  
Journ. Chim. Phys. 16, 442-501, 1918.
- 1918/4. (61) *Instalación para la medida de la susceptibilidad magnética por el método de Quinke.*  
Trab. Lab. Inv. Fís. n° 1-III, 1918.
- 1918/5. (62) *Mecanismo de la disociación electrolítica.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 16, 186-225, 1918; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. n° 40, 1918.
- 1918/6. (63) *El paramagnetismo de las sales sólidas y la teoría del magnetón.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 16, 436-449, 1918; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. n° 43, 1918.
- 1919/1. (64) *El estado actual de la teoría del magnetismo. III.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 17, 9-35 y 55-80, 1919; y  
Memorias del Instituto Nacional de Ciencias. Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1919.
- 1919/2. (65) *El estado actual de la teoría del magnetismo.*  
Memorias del Instituto Nacional de Ciencias. Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1919 (160 págs.).
- 1919/3. (66) *La magnetoquímica de las sales cromosas y oxigrómicas.*  
En colaboración con S. Piña.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 17, 149-167, 1919; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. n° 55, 1919.
- 1920/1. (67) *Las Fronteras del Conocimiento en la Filosofía Natural.*  
Conferencia. Facultad de Filosofía y Letras, Buenos Aires, 4-XI-1920.  
Verbum 14, n° 55, 264-277, 1920; y  
Tribuna Española (Argentina).
- 1921/1. (68) *La Universidad y sus elementos integrantes. El profesor y el alumno.*  
Conferencia. Acto de recepción en el Colegio Nacional "Mariano Moreno" de Buenos Aires.  
De Humanidades 2, 17-29, 1921.

- 1921/2. (69) *La estructura del átomo y las propiedades magnéticas.*  
Congreso Asoc. Esp. Prog. Cienc. Tomo II, 5-44, Oporto, 1921 (Conferencia, 28-VI-1921).
- 1921/3. (70) *La teoría de la Relatividad.*  
Conferencia. Sociedad de Oceanografía de Guipúzcoa, septiembre 1921 (18 págs.).
- 1921/4. (71) *Momento actual de la Física.*  
Discurso inaugural del Curso 1921-22 de la Real Academia de Ciencias de Madrid, 13-XI-1921 (30 págs.).
- 1921/5. (72) (No es artículo. Sólo resumen de las conferencias por E. de Rafael):  
*Conferencias sobre la relatividad en la Universidad de Madrid.*  
Ibérica 16, 306-307, 324, 356, 371-373 y 387-389, 1921.
- 1922/1. (73) *Las propiedades magnéticas y la estructura del átomo.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 20, 92-97, 1922.
- 1922/2. (74) *Le paramagnétisme et la structure de l'atome.*  
Journ. Phys. et Rad. 3, 443-460, 1922.
- 1922/3. (75) *Variación de la constante magnética del catión oxicroómico por la acción del ácido sulfúrico.*  
En colaboración con S. Piña.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 20, 175-181, 1922.
- 1922/4. (76) *Influencia de los aniones disimulados sobre la constante magnética de los cationes  $Cr^{+++}$  y  $(Cr_2O)^{IV}$ .*  
En colaboración con S. Piña.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 20, 509-518, 1922.
- 1922/5. (77) *El paramagnetismo y la estructura del átomo.*  
Rev. R. Acad. Cienc. 20, 348-375, 1922; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. nº 70, 1923.
- 1922/6. (78) *La constante magnética de los complejos crómicos y oxicromicos.*  
En colaboración con S. Piña.  
Rev. R. Acad. Cienc. 20, 385-420, 1922; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. nº 71, 1923.
- 1922/7. (79) *Estructura del átomo.*  
Resumen de las conferencias dadas en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza del 13 al 20-I-1922.  
Acad. Cienc., Zaragoza, 83-122, 1923.
- 1923/1. (80) *Discurso.*  
Acto de entrega del Diploma de Académico corresponsal al Prof. A. Einstein, 4-III-

1923 (9 págs.).

1923/2. (81) *La válvula de tres electrodos.*  
Ing. y Const. 1, 8-12, 1923.

1923/3. (82) *La obra de Einstein fuera de la Teoría de la Relatividad.*  
Rev. Matemática Hispano-Americana 5, 142-152, 1923; y  
Madrid: Rev. Matemática Hispano-Americana. (Monografía. 10 págs.).

1923/4. (83) *Los magnetones de Weiss y de Bohr y la constitución del átomo.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 21, 505-526, 1923.

1923/5. (84) *Principio de Relatividad.*  
Publicaciones de la Residencia de Estudiantes. Serie I, Vol. 7, Madrid, 1923.

1924/1. (85) *Ondas hertzianas, luz y rayos X.*  
Ing. y Const. 13, 2-6, 1924.

1924/2. (86) *Variación de la constante diamagnética del agua con la temperatura.*  
En colaboración con A. Duperier.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 22, 160-167, 1924.

1924/3. (87) *La constante  $\Delta$  de la ley de Curie modificada.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 22, 463-475, 1924.

1925/1. (88) *La estructura de los átomos y moléculas desde el punto de vista físico.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 23, 101-122, 211-222 y 239-249, 1925; y  
Trab. Lab. Inv. Fís., Memorias de Información nº 8-III, 1926.

1925/2. (89) *Paramagnetismo de las tierras escasas.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 23, 151-157, 1925.

1925/3. (90) *Cálculo de los radios atómicos por la susceptibilidad diamagnética.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 23, 172-180, 1925.

1925/4. (91) *Les terres rares et la question du magnéton.*  
C. R. Acad. Scienc. París 180, 668-671, 1925.

1925/5. (92) *La variation thermique du magnétisme de l'eau et de quelques solutions paramagnétiques.*  
En colaboración con A. Duperier.  
Journ. Phys. et Rad. 6, 121-138, 1925.

1925/6. (93) *Paramagnetismo de los elementos de las tierras raras y el Magnetón de Weiss. I. Los sulfatos  $M_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ .*  
Rev. R. Acad. Cienc. 22, 289-322, 1925; y  
Trab. Lab. Inv. Fís. nº 75, 1926.

- 1925/7. (94) *Le magnétisme et la structure de l'atome et de la molécule.*  
Journ. Phys. et Rad. 6, 241-258 y 273-286, 1925.
- 1926/1. (95) *Paramagnetismo, estructura del átomo y clasificación periódica.*  
Rev. R. Acad. Cienc. 23, 177-246, 1926.
- 1926/2. (96) *Variación del paramagnetismo con la temperatura.*  
En colaboración con J. Palacios.  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 24, 297-317, 1926.
- 1926/3. (97) *Evolución inorgánica.*  
Conferencias. Sociedad de Cursos y Conferencias, 10 y 11-X-1926.
- 1927/1. (98) *Proceso de extensión del conocimiento.*  
Revista de Occidente, 1927.
- 1927/2. (99) *Paramagnetismo y estructura del átomo.*  
Inv. y Prog. 1, nº 2, 9-10, 1927.
- 1927/3. (100) *La théorie du paramagnétisme.*  
Journ. Phys. et Rad. 8, 257-275, 1927.
- 1927/4. (101) *Discurso.*  
Contestación al de ingreso de A. del Campo en la Real Academia de Ciencias de Madrid, 15-VI-1927 (10 págs.).
- 1927/5. (102) *Sur la théorie du paramagnétisme.*  
C. R. Acad. Scienc. París 185, 346-348, 1927.
- 1927/6. (103) *Sur le paramagnétisme des familles du palladium et du platine.*  
En colaboración con A. Duperier.  
C. R. Acad. Scienc. París 185, 414-416, 1927.
- 1927/7. (104) *Congreso Internacional de Física de Como.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 25, 385-391, 1927.
- 1927/8. (105) *El átomo y sus propiedades electromagnéticas.*  
Biblioteca de Ensayos nº 2. Madrid: Editorial Páez, 1927 (191 págs.).
- 1928/1. (106) *Les propriétés magnétiques des familles du palladium et du platine et la théorie du paramagnétisme.*  
Atti Cong. Int. d. Fís. Como Tomo I, 95, 1928.
- 1928/2. (107) *A propos de l'évolution des éléments.*  
C. R. Acad. Scienc. París 186, 228-230, 1928.
- 1928/3. (108) *Los orígenes del magnetismo terrestre.*  
Conferencia. Instituto Geográfico y Catastral, 11-I-1928 (19 págs.).



- 1928/4. (109) *Sur les réactions internucléaires.*  
C. R. Acad. Scienc. París 186, 501-503, 1928.
- 1928/5. (110) *Sobre la teoría general de las propiedades magnéticas de la materia.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 26, 50-66, 1928.
- 1928/6. (111) *La evolución de los elementos químicos.*  
An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 26, 186-205, 1928.
- 1928/7. (112) *Paramagnétisme et structure des atomes combinés.*  
Réunion Internationale de Chimie Physique, 243-271, París, 1928.
- 1929/1. (113) *Sur les propriétés paramagnétiques des terres rares.*  
En colaboración con A. Duperier.  
C. R. Acad. Scienc. París 188, 1640-1642, 1929.
- 1929/2. (114) *Paramagnetismo y estructura de los átomos combinados.*  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 27, 73-107, 1929.
- 1929/3. (115) *Acerca de las propiedades magnéticas de las tierras raras.*  
En colaboración con A. Duperier.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 27, 671-682, 1929.
- 1930/1. (116) *Valor del magnetón de Weiss deducido de los cuerpos paramagnéticos.*  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 28, 431-447, 1930.
- 1930/2. (117) *Sur la variation thermique du coefficient d'alimentation de l'eau.*  
En colaboración con W. Johner y A. Piccard.  
C. R. Acad. Scienc. París 191, 589-591, 1930.
- 1930/3. (118) *Los mundos habitables.*  
Revista de Occidente 78, 395-418, 1930 (Diciembre 1929).
- 1930/4. (119) *Artículos de Física (Varios).*  
Enciclopedia Espasa. Madrid, 1930.
- 1931/1. (120) *Magnétisme atomique.*  
Conferencia. Junio, 1930.  
Annales de L'Institut H. Poincaré, 93-142, 1931.
- 1931/2. (121) *L'étude expérimentale du paramagnétisme. Le magnéton.*  
Sixième Conseil de L'Institut International de Physique Solvay, 141, 1931 (Leído en octubre de 1930), (80 págs.).
- 1931/3. (122) *Estudio termomagnético de algunos compuestos anhidros de Co y Ni.*  
En colaboración con A. Duperier.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 29, 5-14, 1931.

- 1931/4. (123) *Física Teórica. Tomo I: Calor y Constitución de la Materia.*  
En colaboración con J. Palacios y J. Cabrera.  
Toledo, 1931. (2ª ed. 1935).
- 1931/5. (124) *La imagen actual del Universo según la relatividad.*  
Revista de Occidente, julio 1931.
- 1932/1. (125) *Discurso.*  
Contestación al de ingreso de J. Palacios en la Real Academia de Ciencias de Madrid, 8-IV-1932 (12 págs.).
- 1932/2. (126) *Susceptibilidad magnética de las mezclas de acetona y cloroformo y del alcohol triclorobutílico.*  
En colaboración con A. Madinaveitia.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 30, 528-539, 1932; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. n° 29, 1932.
- 1932/3. (127) *Étude magnétique et spectrale de la pureté de l'oxyde de Samarium.*  
Bull. Bi-mensuel Soc. Franç. Phys. 332, 185-186, 1932. (Sesión del 21-XI-1932, Sección de Estrasburgo).
- 1933/1. (128) *La génesis de los elementos químicos.*  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 31, 158-173, 1933; e  
Inst. Nac. Fís. y Quím., Memorias de Información n° 1, 1933.
- 1933/2. (129) *Variación de la constante diamagnética del agua con la temperatura.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 31, 401-411, 1933; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. n° 54, 1933.
- 1933/3. (130) *Diamagnetismus von Wasser bei verschiedenen Temperaturen. I.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Zs. f. Phys. 82, 759-764, 1933.
- 1933/4. (131) *Diamagnétisme et température.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
C. R. Acad. Scienc. París 197, 379-381, 1933.
- 1933/5. (132) *Über den Diamagnetismus organischer Verbindungen in Hinblick auf den Einfluss von Temperatur und Konstitution I.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach  
Zs. f. Phys. 85, 568, 1933.
- 1933/6. (133) *Electricidad y Teoría de la materia* (5ª y 6ª partes de la Física Experimental II de Lang-Cabrera).  
Labor, 1933.

- 1934/1. (134) *La octava conferencia internacional del metro.*  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. (Rev.) 32, 11-13, 1934.
- 1934/2. (135) *Magnetische Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung von Kaliumjodid und Wasser in der Lösung.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Zs. f. Phys. 89, 166-178, 1934.
- 1934/3. (136) *Über den Diamagnetismus organischer Verbindungen in Hinblick auf den Einfluss von Temperatur und Konstitution II.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Zs. f. Phys. 89, 682, 1934.
- 1934/4. (137) *Teoría del diamagnetismo.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Trabajos del IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada, 1934.
- 1934/5. (138) *¿Qué es la materia?*  
Conferencia. Instituto Nacional Agronómico, 1934 (37 págs.).
- 1934/6. (139) *Ideas actuales sobre la materia.*  
Las Ciencias 1, 53-63 y 271-279, 1934.
- 1934/7. (140) *Discurso.*  
Contestación al de ingreso de E. Moles en la Real Academia de Ciencias de Madrid, 28-III-1934 (7 págs.).
- 1934/8. (141) *Magnetische Untersuchungen von Wasser und von in Wasser gelöstem Kaliumjodid.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Trabajos del IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada Tomo II, 495-500, 1934.
- 1934/9. (142) *Sur le diamagnétisme de quelques composés organiques et son changement avec la température.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Trabajos del IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada Tomo II, 501-505, 1934.
- 1934/10. (143) *L'évolution du monde minéral.*  
Conferencia. Colegio de España. Cité Universitaire. París, 1934 (8 págs.).
- 1934/11. (144) *La susceptibilidad magnética del agua y la influencia de las sales disueltas.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 32, 525-537, 1934; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. n° 85, 1934.

- 1934/12. (145) *Diamagnetismo del agua pesada en los estados líquido y sólido.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 32, 538-542, 1934; y  
Trab. Inst. Nac. Fís y Quím. n° 86, 1934.
- 1934/13. (146) *Diamagnetismo de los alcoholes primarios y otros compuestos orgánicos.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 32, 543-566, 1934; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. n° 87, 1934.
- 1934/14. (147) *Über den Diamagnetismus des flüssigen und festen schweren Wassers und sein Temperaturverhalten.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
Die Naturwissenschaften 22/24, 417, 1934.
- 1934/15. (148) *Contribución al estudio del magnetismo de la familia del paladio.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 32, 1045-1052, 1934; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. n° 108, 1934.
- 1934/16. (149) *Beiträge zum Paramagnetismus in der Palladiumreihe.*  
En colaboración con H. Fahlenbrach.  
An. der Phys. 21, 832-840, 1934.
- 1935/1. (150) *New measurements of the susceptibility of the ions Gd<sup>+++</sup>, Tb<sup>+++</sup>, Dy<sup>+++</sup>, Ho<sup>+++</sup> and Er<sup>+++</sup>.*  
Zeeman Verhandelingen, 377-386, 1935.
- 1935/2. (151) *Las susceptibilidades de los iones Gd<sup>+++</sup>, Tb<sup>+++</sup>, Dy<sup>+++</sup>, Ho<sup>+++</sup> y Er<sup>+++</sup> y el magnetón de Weiss.*  
Bol. R. Acad. Cienc. 1, n° 1, 1-3, 1935.
- 1935/3. (152) *Constantes magnéticas de algunos sulfatos octohidratados de las tierras raras.*  
En colaboración con S. Velayos y N. Cabrera.  
Bol. R. Acad. Cienc. 1, n° 2, 1-2, 1935.
- 1935/4. (153) *Comportamiento magnético del cloruro de neodimio sólido y en disolución.*  
En colaboración con A. Espurz y N. Menéndez.  
Bol. R. Acad. Cienc. 1, n° 2, 2-5, 1935.
- 1935/5. (154) *Discurso de Clausura del Curso 1935 de la Universidad de Verano de Santander.*  
El Cantábrico, 1-IX-1935, pág. 1; y en  
Madariaga, B. *et al.* (1981, págs. 289-293).

- 1936/1. (155) *Comportamiento magnético del cloruro de praseodimio sólido y sus disoluciones.*  
En colaboración con A. Espurz.  
Bol. R. Acad. Cienc. 2, nº 5, 1-4, 1936.
- 1936/2. (156) *Sobre la variación con la temperatura de la susceptibilidad de disoluciones de algunas sales de Ni<sup>++</sup>.*  
En colaboración con J. del Corro.  
Bol. R. Acad. Cienc. 2, nº 5, 4-7, 1936.
- 1936/3. (157) *Magnetismo de algunos cloruros de la familia del platino.*  
En colaboración con A. Duperier.  
Bol. R. Acad. Cienc. 2, nº 9, 1-5, 1936.
- 1936/4. (158) *Evolución de los conceptos físicos y lenguaje.*  
Discurso de ingreso en la Real Academia Española, 26-I-1936.
- 1936/5. (159) *Nueva instalación para la medida de la susceptibilidad magnética por el método de Faraday.*  
En colaboración con J. M. Torroja.  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 34, 5-25, 1936; y  
Trab. Inst. Nac. Fís. y Quím. nº 145, 1936.
- 1937/1. (160) *Nuevas medidas de la susceptibilidad de los iones de Gd<sup>+++</sup>, Tb<sup>+++</sup>, Dy<sup>+++</sup>, Ho<sup>+++</sup> y Er<sup>+++</sup> y el magnetón de Weiss. I.*  
An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. 35, 207-241, 1937.
- 1937/2. (161) *Les moments de quelques cations des terres rares et le magnétisme de Weiss.*  
C. R. Acad. Scienc. París 205, 400-403, 1937.
- 1937/3. (162) *Leonardo Torres y Quevedo.*  
Procés-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures 18, 293-295, 1937.
- 1937/4. (163) *Dia et paramagnétisme et structure de la matière.*  
Actualités Scientifiques et Industrielles, nº 562. París, Hermann & Cie., 1937 (80 págs.).
- 1938/1. (164) *La méthode de Faraday pour la mesure précise de la susceptibilité magnétique appliqué aux terres rares.*  
Journ. Phys. et Rad. 9, 209-227, 1938.
- 1938/2. (165) *Influence de l'eau sur les valeurs des constantes magnétiques des terres rares.*  
C. R. Acad. Scienc. París 207, 1077-1080, 1938.
- 1939/1. (166) *Further results on the magnetism of chlorides of the palladium and*

- platinum triads of elements.*  
En colaboración con A. Duperier.  
Proc. Phys. Soc. 51, 845-858, 1939.
- 1939/2. (167) *Influence de l'eau sur les constantes magnétiques des terres rares.*  
Journ. Chim. Phys. 36, 117-129, 1939.
- 1939/3. (168) *Sur le paramagnétisme des terres rares.*  
Journ. Chim. Phys. 36, 237-255, 1939.
- 1939/4. (169) *Résultats expérimentaux récents sur le paramagnétisme des terres rares et des familles du palladium et du platine.*  
En el volumen *Le Magnétisme* (reunión organizada por el Centre National des Recherches Scientifiques de France, el Instituto Internacional de Cooperación Intelectual y el Instituto de Física de la Universidad de Estrasburgo en mayo de 1939, Vol. III, 153, 1939.
- 1941/1. (170) *Diamagnétisme et structure moléculaire.*  
Journ. Chim. Phys. 38, 1-11, 1941.
- 1941/2. (171) *Une installation pour la mesure des susceptibilités des corps faiblement magnétiques.*  
En colaboración con O. Amiot y H. Colson.  
C. R. Acad. Scienc. París 212, 1115-1118, 1941.
- 1941/3. (172) *Les susceptibilités diamagnétiques des alcools butyliques.*  
En colaboración con H. Colson.  
C. R. Acad. Scienc. París 213, 108-111, 1941.
- 1942/1. (173) *Naturaleza y laboratorio.*  
Rev. de la Soc. Estudios Astronómicos y Geofísicos (México) 11, 1, 1942.
- 1942/2. (174) *El atomismo y su evolución.*  
Ciencia 3, 3, 97, 241 y 289, 1942.
- 1942/3. (175) *Sir William Bragg.*  
Ciencia 3, 224, 1942.
- 1943/1. (176) *La influencia de don Santiago Ramón y Cajal sobre la juventud española.*  
Anales de Medicina del Ateneo Ramón y Cajal (México), nº 1, 26, 1943.
- 1943/2. (177) *Cincuenta años en la evolución del concepto de materia.*  
Cuadernos Americanos (México) 2, nº 5, 75, 1943.
- 1944/1. (178) *El magnetismo de la materia.*  
Buenos Aires (Argentina): Institución Cultural Española. 1944 (63 págs.).

1945/1. (179) *Don Ignacio Bolívar Urrutia (Madrid 9-XI-1850/19-XI-1944).*  
Ciencia 6, 3, 1945.

1945/2. (180) *Evolución de las ideas en la física.*  
Ciencia 6, 197, 1945.

## B.II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNSTEIN, J. (1973), *Einstein*, Viking, New York.
- BORN, M. (1956), "Physics and Relativity" en *Physics in my Generation*, Pergamon Press, Oxford.
- (1962), *Einstein's Theory of Relativity*, Dover, New York.
- BRIDGMAN, P.W. (1949), "Einstein's Theories and The Operational Point of View", en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, P.A. Schilpp (ed.), págs. 335-354, Open Court, La Salle.
- BUNGE, M. (1969), *Foundations of Physics*, Springer-Verlag, Berlín.
- CABRERA FELIPE, B. En el capítulo anterior se ha expuesto toda su obra.
- CABRERA NAVARRO, C. (1995), Paneles "Blas Cabrera, 1878-1945: su trayectoria vista a través del paso del Sol por el firmamento" en el libro-catálogo *Exposición "Blas Cabrera: vida y obra de un científico"*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid. [Se exhibieron, por primera vez, en la Universidad Internacional de la Axarquía, Vélez-Málaga, julio de 1988, en la exposición "Blas Cabrera, físico"].
- CABRERA SÁNCHEZ, N. (1978), "Apuntes biográficos acerca de mi padre D. Blas Cabrera y Felipe (1878-1945)" en *En el Centenario de Blas Cabrera* (1979), págs. 59-73, Universidad Internacional de Canarias "Pérez Galdós", ICYT, Madrid.
- (1980), "Blas Cabrera. Resumen de su actividad científica". Conferencia pronunciada en Santander (21 de noviembre) en la Fundación Marcelino Botín. Editada en *Aula de Cultura Científica, nº 14*, 1983, Amigos de la Cultura Científica, Santander.
- (1995), "Don Blas Cabrera y Felipe: perfil humano y científico" en el libro-catálogo *Exposición "Blas Cabrera: vida y obra de un científico"*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid. [Texto escrito en 1987].
- CAMPBELL, N.R. (1923), *Relativity*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- CRELINSTEN, J. (1980a), "Einstein. Relativity and the Press: The Myth of Incomprehensibility", *The Physics Teacher*, 18, 115-122.
- (1980b), "Physicists Receive Relativity: Revolution and Reaction", *The Physics Teacher*, 18, págs. 187-193.
- (1983), "William Wallace Campbell and the 'Einstein Problem': An Observational Astronomer Confronts the Theory of Relativity", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 14, 1-91.
- EDDINGTON, A.S. (1918), *Report on the Relativity Theory of Gravitation*, The Physical Society of London, London.



- (1920), *Space, Time and Gravitation*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- (1923), *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- EINSTEIN, A. (1905a), *Ann. der Phys.* 17, 132-148.
- (1905b), *Ann. der Phys.* 17, 891-921.
- (1905c), *Ann. der Phys.* 18, 630-641.
- (1915a), *Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss.* 46, 776-786.
- (1915b), *Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss.* 46, 799-801.
- (1915c), *Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss.* 47, 831-839.
- (1915d), *Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss.* 48, 844-847.
- (1916), *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*. [Ed. castellana (1984), Alianza Editorial, Madrid].
- (1922), *The Meaning of Relativity*, Princeton University, Princeton. [Escribió una 2ª edición, en 1945, con interesantes apéndices]. [Existe traducción castellana de esta 2ª edición en Planeta-Agostini (1985)].
- (1949), "Autobiographical Notes" en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, P.A. Schilpp (ed.), págs. 1-95, Open Court, La Salle.
- (1980), *Mi visión del mundo*, Tusquets, Barcelona.
- (1982), *Sobre la Teoría de la Relatividad y otras contribuciones científicas*, Antoni Bosch, Barcelona.
- EINSTEIN, A., L. INFELD (1938), *The evolution of Physics*, Simon & Schuster, New York.
- EINSTEIN, A., H.A. LORENTZ, H. WEYL, H. MINKOWSKI (1952), *The Principle of Relativity*, Dover, New York.
- FREÜNLICH, E. (1920), *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* (trad. de J.M. Plans y Freyre), Calpe, Madrid-Barcelona.
- GALISON, P.L. (1979), "Minkowski's Space-Time: From Visual Thinking to the Absolute World", *Hist. Stud. in the Phys. Sci.* 10, 85-121.
- GIRAL GONZÁLEZ, F. (1994), *Ciencia española en el exilio (1939-1989)*, Anthropos, Madrid.
- GLICK, T.F. (1986), *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*, Alianza, Madrid.
- (1987), "Relativity in Spain" en *The Comparative Reception of Relativity*, (ed.) Glick, págs. 231-263, Reidel, Boston.
- (1988), *Einstein in Spain*, Princeton Univ. Press, Princeton.
- GOLDBERG, S. (1967), "Henri Poincaré and Einstein's Theory of Relativity", *Am. J. Phys.* 35, 934-944.
- (1970), "In Defense of Ether: The British Respond to Einstein's Special Theory of Relativity, 1905-1911" en *Hist. Stud. in the Phys. Sci.* 2, 89-125.

- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1972), *Problemas de Análisis Tensorial*, Copigraf, Madrid.
- (ed.) (1988), Folleto-catálogo de mano de la exposición "Blas Cabrera, físico", Amigos de la Cultura Científica, Vélez-Málaga, Madrid.
- (1990), *El Análisis Dimensional de P.W. Bridgman*, Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional, Universidad Politécnica de Madrid.
- (1993a), (ed.), *Cosmología: física, filosofía, religión*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid.
- (1993b), (ed), *Cosmología: En torno a Galileo, 1993*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid.
- (1994a), *Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid.
- (1994b), *Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid.
- (1994c), *Breviario de Teoría Dimensional*, E.T.S. Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.
- (1994d), *Curso de Cosmología: física, filosofía, religión*, Universidad de La Laguna, Tenerife.
- (1995), [Pre-texto, en prensa] *Cosmología: en torno al tiempo. Física, filosofía, matemática, religión*, Universidad de La Laguna, Tenerife.
- GRÜNBAUM, A. (1973), *Philosophical Problems of Space and Time*, 2nd. edition, Reidel, Dordrecht.
- HIROSIGE, T. (1966), "Electrodynamics before the Theory of Relativity, 1890-1905", en *Japan. Stud. of Sci.* 5, 1-49.
- (1968), "Theory of Relativity and the Ether", en *Japan. Stud. of Sci.*, 7, 37-53.
- HOLTON, G. (1982), *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Editorial, Madrid.
- LAFUENTE GARCÍA, A. (1977), "Apuntes sobre la relatividad en España", *Llull*, 1, 35-44.
- (1978), *Introducción de la relatividad especial en España*, Memoria de Licenciatura, Universidad de Barcelona.
- (1979), "La hipótesis del éter en España", *Llull*, 3, 15-28.
- (1982), "La relatividad y Einstein en España", *Mundo Científico*, 2, 584-591.
- LAÍN ENTRALGO, P. (1994), *La edad de plata de la cultura española, 1898-1936*, tomo 39 de la "Historia de España Menéndez Pidal", Espasa-Calpe, Madrid.
- LANGEVIN, J., M. PATY (1979), "Le séjour d'Einstein en France en 1922" *Fundamenta Scientiae*, 93, Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- LARMOR, J. (1900), *Aether and Matter*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- LICHNEROWICZ, A. (1965), *Elementos de Cálculo Tensorial*, 2ª ed., Aguilar, Madrid.

- LORENTZ, H.A. (1904), *Proc. Roy. Acad. Amsterdam* 6, 809.  
 --- (1909), *The Theory of Electrons*. [Edición (1952) de Dover].
- MAXWELL, J.C. (1864), *Phil. Trans. Roy. Soc.* 154. [Se reproduce en *Scientific Papers*, pág. 526, Dover (1952), New York].  
 --- (1865), *Phil. Trans. Roy. Soc.* 65, 459.  
 --- (1873), *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 2 vols., Clarendon Press, Oxford. [Reedición en Dover].
- Mc CORMMACH, R. (1970), "Einstein, Lorentz and the Electron Theory", *Hist. Stud. in the Phys. Sci.* 2, 41-87.
- MICHELSON, A.A., E.W. MORLEY (1886), *Am. J. Sci.* 31, 377.
- MOOK, D.E., T. VARGISH (1993), *La relatividad. Espacio, tiempo y movimiento*, McGraw-Hill.
- ORTEGA Y GASSET, J. (1922), "Prólogo" a <<Teoría de la Relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos>> de Max Born. En (1983), *Obras completas VI*, 307, Alianza Editorial, Madrid.  
 --- (1923a), "El sentido histórico de la teoría de Einstein", apéndice en *El tema de nuestro tiempo*. En (1983), *Obras completas III*, 231-242, Alianza Editorial, Madrid.  
 --- (1923b), "Medida a Einstein", *El Sol*, 10 de marzo de 1923.  
 --- (1923c), "Con Einstein en Toledo", *La Nación* (Buenos Aires), 15 de abril de 1923.  
 --- (1923d), "Prólogo" a <<La decadencia de Occidente>> de Oswald Spengler. En (1983), *Obras completas VI*, 309-311.  
 --- (1923e), "Prólogo" a <<Geometrías no euclidianas>> de Roberto Bonola. En (1983), *Obras completas VI*, 312.  
 --- (1925), "La metafísica y Leibniz", *La Nación*, 7 de junio de 1925. En (1983), *Obras completas III*, 431-434.  
 --- (1930a), "Vicisitudes en las ciencias", *El Sol*, 9 de marzo de 1930. En (1983), *Obras completas IV*, 63-68.  
 --- (1930b), "¿Por qué se vuelve a la filosofía?". Colección de artículos en *La Nación*. En (1983), *Obras completas IV*, 89-109.  
 --- (1930c), "La barbarie del <<especialismo>>", Cap. XII de *La rebelión de las masas*. En (1983), *Obras completas IV*, 215-220.  
 --- (1933), *En torno a Galileo*. En (1983), *Obras completas V*, 11-163.  
 --- (1937), *Bronca en la Física*, colección de artículos en *La Nación*. En (1983), *Obras completas V*, 271-287.
- PALACIOS, J. (1932), *Mecánica cuantista*. Discurso de recepción en la Acad. C. Ex. Fís. y Nat. Madrid.  
 --- (1950), "Terradas, físico". *Rev. R. Acad. C. Ex. Fís. y Nat.* 44, 114-120.  
 --- (1953), *El lenguaje de la Física y su peculiar filosofía*. Discurso de recepción en la R. Acad. Española, Madrid.

<sup>1</sup> De Julio Palacios sólo se refiere lo estrictamente necesario para el presente libro.

- (1960), *Relatividad: una nueva teoría*, Espasa-Calpe, Madrid.
- *Antirrelatividad* [Inédito].<sup>2</sup>
- PAULI, W. (1958), *Theory of Relativity*, Pergamon Press, Oxford.
- PEARCE WILLIAMS, L. (ed.) (1973), *La teoría de la relatividad*, Alianza Editorial, Madrid.
- PLANCK, M. (1906), *Phys. Z.* 7, 753-761.
- (1909), *Right Lectures on Theoretical Physics*, Columbia.
- PLANS Y FREYRE, J.M. (1920), "Proceso histórico del cálculo diferencial absoluto y su importancia actual", *Asociación española para el Progreso de las Ciencias, Congreso de Oporto*. Madrid, 1921, I, 23-43.
- POPPER, K.R. (1971), *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid.
- PYENSON, L. (1975), "La réception de la relativité généralisée: disciplinarité et institutionalisation en physique", *Rev. Hist. Sci.* 28, 61-73.
- (1985), *The Young Einstein: The Advent of Relativity*, Adam Hilger, Bristol-Boston.
- REY PASTOR, J. (1922), "La teoría de la relatividad", *Estudios* (Buenos Aires), 23, 219-224.
- ROCA I ROSSEL, A. (1984), "La llegada de la 'Gran Ciencia' a España. Las aportaciones de Esteban Terradas Illa (1883-1950)", *Mundo Científico*, 4, 908-915.
- SÁNCHEZ RON, J.M. (1983a), *La España posible de la Segunda República: La oferta de una Cátedra Extraordinaria a Albert Einstein por la Universidad Central (Madrid, 1933)*. Editorial Universidad Complutense, Madrid.
- (1983b), "Documentos para una historia de la física moderna en España: Arnold Sommerfeld, Miguel A. Catalán, Angel del Campo y Blas Cabrera", *Llull*, 5, 97-109.
- (1985), *El origen y desarrollo de la relatividad* (2ª ed. ampliada), Alianza, Madrid.
- (1986), "Blas Cabrera y el Principio de Relatividad". Presentación del libro de B. CABRERA, *Principio de relatividad*, Alta Fulla <<Mundo Científico>>, Barcelona.
- (ed.) (1988), *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después*. 2 vols., CSIC, Madrid.
- (1990b), *Esteban Terradas, Ciencia y Técnica en la España contemporánea*, INTA/El Serbal, Barcelona.
- (1993), "El mundo de Blas Cabrera" en *BILE, Boletín Institución Libre de Enseñanza*, 18, 27-48.

<sup>2</sup> Palacios murió el 12 de febrero de 1970. No logró su edición en vida.

- SÁNCHEZ RON, J.M. y A. ROCA-ROSSELL. (1993), "Spain's First School of Physics: Blas Cabrera's Laboratorio de Investigaciones Físicas" en *Osiris*, Vol. 8, *Research Schools: Historical Reappraisals*, The University of Chicago.
- SCHLICK, M. (1921), *Teoría de la relatividad* (Trad. M. García Morente), Calpe, Madrid.
- TOLMAN, R.G. (1934), *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, Oxford.
- VALERA, M. (1981), *La producción española en Física a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1903-1937*, tesis doctoral, Universidad de Murcia.
- (1983), "La física en España durante el primer tercio del siglo XX", *Llull*, 5, 149-173.
- VAN VLECK, J.H. (1932), *Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*, Oxford Press.
- (1978), "Cabrera's experiments and the early theory of paramagnetism" en *En el Centenario de Blas Cabrera* (1979), págs. 21-29, Universidad Internacional de Canarias "Pérez Galdós", ICYT, Madrid.
- WEYL, H. (1952), *Space-Time-Matter*, Dover, New York.
- WHITTAKER, E. (1951), *A History of the Theories of Aether and Electricity. I: The Classical Theories*, Thomas Nelson and Sons, Edinburgh.
- (1953), *A History of the Theories of Aether and Electricity. II: The Modern Theories, 1900-1926*, Thomas Nelson and Sons, Edinburgh.
- ZUBIRI, X. (1944), *Naturaleza, Historia, Dios*, (1ª ed. Editora Nacional), 9ª ed. (1987), Alianza Editorial, Madrid.
- (1989), *Estructura dinámica de la realidad*, Alianza Editorial, Madrid.

**COLECCIÓN**  
**“AMIGOS DE LA CULTURA CIENTÍFICA”**

**1. Cosmología: física, filosofía, religión**

F. González de Posada (editor), J. Aguilar Peris, A. Ferraz Fayos, D. Maravall Casesnoves  
(Ayto. de Pozuelo de Alarcón. Patronato Municipal de Cultura)

**2. Actas del II Simposio “Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra”**

R. Abad, J.A. Alonso Antoranz, M. Astraín, R.E. Fernández Terán, F. González de Posada, A. González Redondo, E. González Redondo, F.A. González Redondo, M. González Redondo, M.A. González San José, A. Hernando, S. Juaristi, C. Lázaro, A. Martín-Municio, A. Martínez Fernández, A. Menéndez, F.J. Montero, G. Olagüe, E.L. Ortiz, R. Peña, A. Pérez-Vitoria, María D. Redondo, J.M. Romeo, J.P. Sáiz, L. Torres Quevedo, L. Torres-Quevedo, L. Villena  
Editores: F. González de Posada, P. Alonso Juaristi, A. González Redondo  
(Universidad en el Real Valle de Camargo. Cantabria)

**3. Cosmología: en torno a Galileo, 1993**

F. González de Posada (editor), A. Ferraz Fayos, D. Maravall Casesnoves, J.M. Sánchez Ron  
(Ayto. de Pozuelo de Alarcón. Patronato Municipal de Cultura)

**4. Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre**

F. González de Posada  
(Diputación General de Aragón)

**5. Blas Cabrera: físico español, lanzaroteño ilustre**

F. González de Posada  
(Cabildo Insular de Lanzarote)

**6. Actas del I Simposio “Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra”**

A. Dou Más de Xexás, M.A. García Calderón, F. González de Posada, A. González Redondo, F.A. González Redondo, M.A. González San José, A. Hernando González, P. Laín Entralgo, B. Madariaga de la Campa, A. Martínez Fernández, F. Mayor Zaragoza, M<sup>a</sup>D. Redondo Alvarado, L. Rodríguez Alcalde, L. Torres-Quevedo, J.M. Torroja Menéndez, J. del Valle Torre  
Editores: F.A. González Redondo, A. González Redondo  
(Ayto. de Pozuelo de Alarcón. Patronato Municipal de Cultura)

Director: F.A. González Redondo



El Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, a través de su Concejalía de Cultura, ha realizado esfuerzos notables colaborando en esta singular tarea de recuperación de la memoria de Blas Cabrera en el Archipiélago y, en concreto, en nuestra capital.

Así, en 1994, como avance de los actos conmemorativos del 1995: a) organizó un ciclo de conferencias, en colaboración con la Universidad, titulado "Blas Cabrera: físico español, canario ilustre", dictadas por el profesor González de Posada, autor de este libro; b) enriqueció su Nomenclator callejero nominando Paseo Blas Cabrera Felipe "Físico" a la antigua carretera del Sur; c) abrió una biblioteca municipal en Lomo Blanco con el nombre de "Blas Cabrera Felipe"; y d) patrocinó la edición de un número extraordinario del *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* titulado "Canarias y la europeización de España (1876-1936)" en el que se dedica un capítulo a la figura de Blas Cabrera.

En el presente año de 1995, además de su integración en el proyecto general de "Conmemoración en Canarias del L Aniversario de Blas Cabrera", con carácter específico ha decidido: a) exhibir, durante los meses de marzo y abril, la exposición "Blas Cabrera: vida y obra de un científico" en el Castillo de La Luz; b) erigir un busto en bronce, obra del escultor Agustín Bautista, para el Museo de la Ciencia; c) patrocinar este libro *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*; y d) colaborar en las Jornadas grancanarias del Congreso "Blas Cabrera: su vida, su tiempo, su obra" convocado para el próximo mes de noviembre.

El Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, por otra parte, desea hacer manifestación expresa de reconocimiento y de gratitud a los promotores y organizadores de los actos conmemorativos que facilitarán la inclusión de Blas Cabrera en la historia de Canarias, y especialmente, en esta ocasión, considerar como un honor el patrocinio y la difusión de este libro del profesor González de Posada, estudioso de la obra del físico canario y animador de la Conmemoración cincuentenaria.

Cristóbal García del Rosario  
Concejal de Cultura

## TEXTOS DE BLAS CABRERA

- I. "Aplicación a la Física de la Geometría de las cuatro dimensiones"  
Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles, Madrid (1914)
- II. "La Teoría de la Relatividad"  
Conferencia en la Sociedad de Oceanografía de Guipúzcoa, San Sebastián (1921)
- III. "Prólogo" de *Principio de relatividad* (1923)
- IV. *Discursos en la Academia de Ciencias de Madrid* (1923)
- V. "Proceso de extensión del conocimiento"  
*Revista de Occidente* (1927)
- VI. "La obra de Einstein fuera de la Teoría de la Relatividad"  
*Revista Matemática Hispano-Americana* (1928)
- VII. "Los mundos habitables"  
*Revista de Occidente* (1929)
- VIII. "La imagen actual del universo según la relatividad"  
*Revista de Occidente* (1931)

